



Projeto de Equipamento Flexível para Montagem de Conjuntos para Limpa Para- Brisas de Automóvel

RICARDO JORGE SOARES DA COSTA

Setembro de 2016

PROJETO DE EQUIPAMENTO FLEXÍVEL PARA MONTAGEM DE CONJUNTOS PARA LIMPA PARA-BRISAS DE AUTOMÓVEL

Ricardo Jorge Soares da Costa

2016

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE EQUIPAMENTO FLEXÍVEL PARA MONTAGEM DE CONJUNTOS PARA LIMPA PARA-BRISAS DE AUTOMÓVEL

Ricardo Jorge Soares da Costa

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

2016

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto

Co-orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

Ao Doutor Francisco Silva, por toda a confiança depositada, pela sua dedicação e pelo apoio prestado durante este longo caminho; nunca serão esquecidos todos os conselhos e ensinamentos que me transmitiu, muitos ficarão para a vida.

Aos meus pais, por me terem apoiado e por toda a confiança depositada neste projeto e em todos os outros que existiram e existirão. Obrigado pelas conversas e pelos ensinamentos, que espero que continuem, pois tenho muito para aprender.

À Rafaela Moutinho, namorada e melhor amiga, que, sem a sua ajuda e apoio, este caminho teria sido muito mais duro. Poderia gastar uma página inteira para te agradecer e, mesmo assim, não conseguiria. Portanto, fica da forma mais simples que consigo: obrigado pelo apoio. Só tu sabes o quão importante foste neste percurso.

A todos os amigos e colegas de curso, agradeço todos os contributos para a realização deste trabalho. Há pessoas que ficam para a vida e que, por isso, não necessitam de ser referidas.

Por último, um enorme e especial obrigado ao meu avô, José António da Costa, a quem dedico esta dissertação, pela importância que tem na minha vida.

PALAVRAS-CHAVE

Montagem automática, Processos dedicados, Automatização, Indústria automóvel, Equipamentos totalmente automáticos

RESUMO

A indústria de componentes para a área automóvel é um importante pilar da indústria metalomecânica nacional. Esta indústria, baseada antigamente em custos de mão-de-obra relativamente baixos, tardou em evoluir para sistemas de produção mais avançados. Com o incremento da competição internacional e dos custos associados à mão-de-obra, e ainda devido a fatores ligados à garantia da qualidade, estas empresas investem cada vez mais em sistemas dedicados ou flexíveis, mas que dependam cada vez menos do fator mão-de-obra e da variabilidade que lhe está associada, quer em termos de custo, quer em termos de qualidade.

A realização deste trabalho teve por base uma solicitação por parte de uma empresa multinacional dedicada à montagem de componentes para a indústria automóvel – a DELFINGEN PT – PORTO, S.A. Esta empresa, de entre uma diversificada gama de conjuntos que fabrica para a indústria automóvel, possui um sector particularmente dedicado à montagem de componentes para a articulação dos limpa para-brisas. O serviço de montagem é realizado de forma estritamente manual, o que implica a utilização de muita mão-de-obra pouco qualificada, incerteza em termos de garantia da qualidade e um tempo de ciclo considerado pouco competitivo. O desafio deste trabalho foi projetar um equipamento capaz de efetuar a montagem de forma totalmente automática. A este desafio acresce ainda a diversificada gama de produtos que esta família integra, e que, segundo exigência da empresa que alberga este projeto, deverá ser contemplada, através de uma elevada flexibilidade de ajustamento dos sistemas de montagem, permitindo uma preparação de trabalho ágil.

KEYWORDS

Automatic assembly, Devoted and flexible processes, Automation, Automotive industry, Full-automated equipments

ABSTRACT

The production of components for the automotive sector is an important pillar of the national metalworking industry. Formerly based in relatively low labour costs, the components industry is gradually evolving to more advanced production systems. Regarding both the increase of international competition and costs associated with labour, as well as due to factors related to quality assurance, these companies increasingly invest in dedicated or flexible systems, but that depend less on the labour factor and corresponding associated variability, both in terms of cost and quality.

This work was based on a request of a multinational company dedicated to the assembly of components for the automotive industry – DELFINGEN PT-Porto, S. A. This company, from a diverse range of sets that manufactures for the automotive industry, has a sector particularly dedicated to the assembly of components for the articulation of the vehicle widescreen washers. The assembly service is strictly performed in a manual manner, which implies the use of a large amount of unskilled manpower, uncertainty in terms of quality assurance and an uncompetitive cycle time. The challenge of this work was to design a fully-automated equipment capable of carrying out these assembly tasks. In addition to this challenge, this family of products comprises more than twenty different models and, according to the company's requirement, which welcome this project, should be contemplated, through a high flexibility of the systems, enabling an agile work preparation.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Δx	Deformação da mola
€	Euros
μ_c	Coeficiente de atrito
μ_F	Coeficiente de fricção por deslizamento
a	Distância entre eixos [mm]
AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
APT	<i>Automatically Programmed Tools</i>
AV	Alimentador Vibratório
c.s	Coeficiente de Segurança
CAE	Classificação das Atividades Económicas
CE	Conformidade Europeia
Cil	Cilindro
CNC	Controlo Numérico Computorizado
C_p	Força necessária para puxar a corrente [N]
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CR	Cilindro Rotativo (para posicionamento dos gabaritos)
D	Diâmetro exterior do elo da corrente [mm]
d	Diâmetro interior do elo da corrente [mm]
d_a	Diâmetro exterior da cremalheira [mm]
DCL	Diagrama de Corpo Livre
d_f	Diâmetro da raiz [mm]
FAIM	Flexible Automation & Intelligent Manufacturing
F_{a_v}	Força do alimentador vibratório [N]
F_{av}	Força de avanço [N]

F_{cil_elev}	Força do cilindro de elevação [N]
F_G	Força provocada pelo gabarito [N]
F_{g_sp}	Força da garra e respetivo suporte [N]
F_{Grip}	Força de fixação [N]
F_{ib}	Força necessária à introdução de borrachas [N]
F_{ic}	Força necessária à introdução dos casquilhos metálicos [N]
F_{mola}	Força provocada pela mola [N]
FS	<i>Fork Sensor</i>
f_v	Fator de comparação de carga
F_z	Força em ZZ' [N]
g	Aceleração gravítica [m/s ²]
GM	<i>General Motors</i>
IMVP	<i>International Motor Vehicle Program</i>
IPQ	Instituto Português da Qualidade
IRF	Integrity – Reliability - Failure
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISQ	Instituto de Soldadura e Qualidade
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
JIT	<i>Just-in-Time</i>
k	Constante da mola
L	Distância entre centros [mm]
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
m	Módulo
M_a	Massa do acessório [kg]
m_{a_v}	Massa do alimentador vibratório [kg]
m_b	Massa da borracha [kg]
m_c	Massa de introdução de casquilhos [kg]
m_g	Massa do gabarito [kg]
m_{g_sp}	Massa da garra e respetivo suporte [kg]
m_{garra}	Massa da garra [kg]
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
m_{sg}	Massa do suporte da garra [kg]
$M_{t/c}$	Massa total/componentes [kg]

OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
p	Passo
P.1	Posto - 1
P.2	Posto - 2
PDCA	<i>Plane-Do-Check-Act</i>
P _G	Peso do gabarito [N]
PI	Passadeira Indexada
PLC	<i>Programmable Logic Controllers</i>
r	Raio de rotação do pinhão [mm]
s	Espessura do dente [mm]
SI	Sistema Internacional de Unidades
SM	Servomotor
SMC	Servomotor do cilindro elétrico (para introdução de acessórios)
SMCR	Servomotor do cilindro rotativo (para posicionamento dos gabaritos)
SME	Servomotor do eixo vertical
SMP	Servomotor da passadeira indexada
SO	Fibra ótica
T	Torque [Nm]
V	Velocidade [m/s]
W	Massa total carregada [kg]
W _c	Peso total da corrente [N]
Z ₁	Número de dentes da cremalheira
Z ₂	Número de dentes no pinhão

Lista de Unidades

kg	Quilograma
kg/m	Quilograma por metro
kgf	Quilograma-força
kW	QuiloWatt
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo ao quadrado
mm	Milímetro

N	Newton
N/m	Newton por metro
Nm	Newton metro
rpm	Rotação por minuto
s	Segundo
W	Watt

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Cadência	Regularidade de movimentos num determinado período de tempo ou o tempo necessário para que os componentes efetuem todos os movimentos e concluem a montagem de uma carcaça.
<i>Hopper</i>	Alimentador dos alimentadores.
<i>Setup</i>	Configuração, instalação, organização, disposição ou regulação.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – LINHA DE MONTAGEM FORD T (CARGOCOLLECTIVE.COM).	37
FIGURA 2 – MÉTODO <i>JUST-IN-TIME</i> (STRATEGOSINC.COM).	38
FIGURA 3 – ESQUEMA DA FILOSOFIA <i>JUST-IN-TIME</i> (RETIRADO DE FONSECA, 2013).	39
FIGURA 4 – FATORES QUALIDADE, CAPACIDADE E MERCADO DE TROCAS (ADAPTADO DE EL MARAGHY, ET AL., 2012).	39
FIGURA 5 – RELAÇÃO CUSTO, PRAZO DE ENTREGA E QUALIDADE (ADAPTADO DE JOCOU, ET AL., 1992).	40
FIGURA 6 – RELACIONAMENTO MARKETING VS. MERCADO (ADAPTADO DE: FF.UL.PT).	41
FIGURA 7 – A SEGMENTAÇÃO EM MARKETING (FF.UL.PT).	42
FIGURA 8 – EVOLUÇÃO DO MARKETING (BRITO, 1998).	43
FIGURA 9 – PROCESSO DE MARKETING (FF.UL.PT).	43
FIGURA 10 – DETERMINANTES DA COMPETITIVIDADE EMPRESARIAL (ADAPTADO DE PORTER, 1990).	44
FIGURA 11 – FLUXO DE PROCESSO DE UM PROJETO DE ENGENHARIA, DESDE A IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE ATÉ À ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO (ARAÚJO, 2016).	46
FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DA PASSAGEM DE RESPONSABILIDADE POR PARTE DOS OEM PARA OS FORNECEDORES (FELIZARDO, 2004).	47
FIGURA 13 – PRESSÕES IMPOSTAS AOS FORNECEDORES (PRESSÃO EXTERNA VS. PRESSÃO INTERNA) (REIS, 2001).	49
FIGURA 14 – GRÁFICOS DE CONTROLO (EBAH.COM.BR).	53
FIGURA 15 – ANÁLISE DE PARETO (FONSECA, 2013).	53
FIGURA 16 – IPQ – CERTIFICAÇÃO NP EN ISO9001:2008 (IPQ.PT).	54
FIGURA 17 – FRESADORA CNC (BLOG.MISUMIUSA.COM).	55
FIGURA 18 – EXEMPLO DE SISTEMAS DE MANIPULAÇÃO (INTEREMPRESAS.NET).	55
FIGURA 19 – CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS (VOLUME DE PRODUÇÃO VS. DIVERSIDADE DE PRODUTOS) (ADAPTADO DE GROOVER, 2000).	55
FIGURA 20 – MOINHO DE VENTO (ARTEAOVENTO.COM.PT)	59
FIGURA 21 – MÁQUINA A VAPOR DE JAMES WATT (FISICACOMDAENYESABRINA.BLOGSPOT.PT)	60
FIGURA 22 – O <i>UNIMATE</i> , O PRIMEIRO ROBÔ INDUSTRIAL (COMATRELECO.COM.BR)	60
FIGURA 23 – LINHA DE MONTAGEM DE CAMISA EURO V (AWAUTOMACAO.COM.BR).	63
FIGURA 24 – LINHA DE EMPACOTAMENTO (TECNOALIMENTAR.PT).	64
FIGURA 25 – FORKED AGV (JBTC-AGV.COM).	64
FIGURA 26 – ALIMENTADOR VIBRATÓRIO (DB-AUTOMATION.CO.UK).	64
FIGURA 27 – EXEMPLO DE SELEÇÃO NUMA MESA VIBRATÓRIA (IELM.UST.HK).	65
FIGURA 28 – <i>PICK-AND-PLACE</i> (AFASYSTEMSINC.COM).	65

FIGURA 29 – DIFERENTES ESTAÇÕES DE ETIQUETAGEM (NOF, 2009).	66
FIGURA 30 – PROCESSO DE INFORMAÇÃO (DESDE A LEITURA ATÉ À NOVA ORDEM).	74
FIGURA 31 – EXEMPLO DE CONTROLADOR FIM DE CURSO (FESTO.COM).	74
FIGURA 32 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM AUTÓMATO (TECNOLOGIASINDUSTRIAIS.WORDPRESS.COM).	75
FIGURA 33 – MARCAÇÃO CE (VLM.PT).	76
FIGURA 34 – BROCA (OPAC.IEFP.PT).	79
FIGURA 35 – ENGRENAGEM (OPAC.IEFP.PT).	79
FIGURA 36 – EXEMPLO DE CAPTURA POR PRISÃO (OPAC.IEFP.PT).	80
FIGURA 37 – MOVIMENTOS ALTERNATIVOS (OPAC.IEFP.PT).	80
FIGURA 38 – MOVIMENTOS DE TRANSLAÇÃO SIMPLES (OPAC.IEFP.PT).	80
FIGURA 39 – RISCO ELÉTRICO POR CONTACTO DIRETO E INDIRETO (TECNICOSAUDEAMBIENTAL.BLOGSPOT.PT).	82
FIGURA 40 – SINAL DE PERIGO DE ELETROCUSSÃO (TECNICOSAUDEAMBIENTAL.BLOGSPOT.PT).	82
FIGURA 41 – ESCALA DE NÍVEIS DE RUÍDO (ADP8ASOM.NO.SAPO.PT).	83
FIGURA 42 – VIBRAÇÕES E DANOS CAUSADOS PELAS MESMAS (PT.SLIDESHARE.NET).	84
FIGURA 43 – RADIAÇÃO IONIZANTE (ELIXIRDASABEDORIA.BLOGSPOT.PT).	84
FIGURA 44 – RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES (PT.SLIDESHARE.NET).	85
FIGURA 45 – SINAIS DE PERIGO (PT.SLIDESHARE.NET).	85
FIGURA 46 – POSTURA CORRETA VS. POSTURA ERRADA (VIVERCOMSAUDEBLOG.WORDPRESS.COM).	86
FIGURA 47 – EXEMPLO DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA PROTEÇÕES (OPAC.IEFP.PT).	87
FIGURA 48 – EXEMPLOS DE EQUIPAMENTOS PESSOAIS DE PROTEÇÃO (CIVIL.UMINHO.PT).	89
FIGURA 49 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MECANISMO DE GENEVA (PT.WIKIPEDIA.ORG).	90
FIGURA 50 – POSICIONAMENTO DE ENGRENAGENS PLÁSTICAS (BRITO, 2014).	91
FIGURA 51 – EVOLUÇÃO DA DELFINGEN AO LONGO DO TEMPO (DELFINGEN.COM).	96
FIGURA 52 – DISTRIBUIÇÃO DA DELFINGEN PELO MUNDO (DELFINGEN.COM).	97
FIGURA 53 – SEDE DA DELFINGEN, EM FRANÇA (DELFINGEN.COM)	97
FIGURA 54 – DELFINGEN PORTUGAL (DELFINGEN.COM).	97
FIGURA 55 – VISTA EXPLODIDA DOS COMPONENTES DO MOTOR LIMPA PARA-BRISAS.	98
FIGURA 56 – DIFERENTES ACESSÓRIOS DE MONTAGEM.	100
FIGURA 57 – ORDEM DE MONTAGEM DOS ACESSÓRIOS NA CARCAÇA.	100
FIGURA 58 – SEMELHANÇA DE ALTURAS ENTRE TUBOS DOS DIFERENTES MODELOS.	101
FIGURA 59 – SEMELHANÇA NO DIÂMETRO DOS TUBOS.	101
FIGURA 60 – SEMELHANÇA DA DISTÂNCIA DO CENTRO DO VEIO AO CENTRO DO TUBO.	101
FIGURA 61 – ALINHAMENTO PARA ENTRADA DE BORRACHAS E CASQUILHOS.	102
FIGURA 62 – EXEMPLO PARA ROTAÇÃO DOS ALIMENTADORES.	102
FIGURA 63 – DIFERENÇA DE COTAS ENTRE OS PLANOS DE ALINHAMENTO.	103
FIGURA 64 – QUANTIDADE DE CARCAÇAS PRODUZIDAS POR ANO.	104

FIGURA 65 – 1.ª TENTATIVA: ALIMENTADOR.	106
FIGURA 66 – ESQUEMA EXEMPLIFICATIVO DA SOBREPOSIÇÃO DE BORRACHAS.	108
FIGURA 67 – ALIMENTADOR ROTATIVO.	108
FIGURA 68 - POSIÇÃO DOS CILINDROS.	109
FIGURA 69 – 2.ª TENTATIVA: LINHAS DE MONTAGEM.	109
FIGURA 70 – DISPOSIÇÃO GERAL DO EQUIPAMENTO PROJETADO	111
FIGURA 71 – VISTA SUPERIOR DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	112
FIGURA 72 – VISTA FRONTAL DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	113
FIGURA 73 – VISTA INFERIOR DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	113
FIGURA 74 – VISTA POSTERIOR DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	114
FIGURA 75 – VISTA LATERAL ESQUERDA DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	114
FIGURA 76 – VISTA LATERAL DIREITA DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	115
FIGURA 77 – VISTA EXPLODIDA DO POSTO 3 DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	116
FIGURA 78 – VISTA EXPLODIDA DA PASSADEIRA INDEXADA DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	117
FIGURA 79 – VISTA EXPLODIDA DA PROTEÇÃO SUPERIOR DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	118
FIGURA 80 – VISTA EXPLODIDA DA MESA DE TRABALHO DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	119
FIGURA 81 – MESA – DETALHES ESTRUTURAIS.	121
FIGURA 82 – ESTRUTURA PROTETORA SUPERIOR DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO.	122
FIGURA 83 – <i>HOPPERS</i> .	123
FIGURA 84 – SENTIDO DE VIBRAÇÃO DO HOPPER.	123
FIGURA 85 – QUEDA DE ACESSÓRIOS PARA A TREMONHA.	123
FIGURA 86 – TUBO FLEXÍVEL (VOUGAFLEX.PT).	124
FIGURA 87 – SEQUÊNCIA DE MOVIMENTOS ENTRE PALETES.	125
FIGURA 88 – MÉTODO DE FIXAÇÃO ENTRE CORRENTE E PALETE.	126
FIGURA 89 – CALÇO DE DESGASTE.	127
FIGURA 90 – TENSOR.	127
FIGURA 91 – ÂNGULO ENTRE FUROS PARA POSICIONAMENTO DO GABARITO.	128
FIGURA 92 – DIFERENTES VISTAS DO GABARITO INFERIOR.	128
FIGURA 93 – SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DO GABARITO INFERIOR.	129
FIGURA 94 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO GABARITO SUPERIOR.	129
FIGURA 95 – DIFERENTES POSIÇÕES DO GABARITO (INCREMENTO DA FLEXIBILIDADE).	130
FIGURA 96 – CILINDRO ROTATIVO PARA POSICIONAMENTO DO GABARITO.	130
FIGURA 97 – PASSADEIRA INDEXADA.	131
FIGURA 98 – PORMENOR DE FIXAÇÃO DO GABARITO NA PALETE DA PASSADEIRA INDEXADA.	131
FIGURA 99 – POSTO 1: INTRODUÇÃO DE BORRACHAS E POSTO 2: INTRODUÇÃO DE CASQUILHOS.	132
FIGURA 100 – DIVISÃO DO PICK-AND-PLACE (PARTE SUPERIOR: COMPONENTES AMOVÍVEIS; PARTE INFERIOR: COMPONENTES FIXOS).	133
FIGURA 101 – ALTERAÇÃO DA PARTE SUPERIOR DOS <i>PICK-AND-PLACE</i> .	134

FIGURA 102 – SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO, SUPORTE E ALINHAMENTO.	135
FIGURA 103 – CILINDROS DE ELEVAÇÃO E GUIAS.	135
FIGURA 104 – CASQUILHOS REDONDOS A SER ELIMINADOS DA CALHA.	136
FIGURA 105 – CASQUILHOS REDONDOS SEGUINDO PELA CALHA SEM SER ELIMINADOS.	137
FIGURA 106 – SISTEMA DE ELIMINAÇÃO PARA PEÇAS SOBREPOSTAS.	137
FIGURA 107 – SISTEMA DE RETENÇÃO DE ACESSÓRIOS.	138
FIGURA 108 – MESA DE VIBRAÇÃO LINEAR.	139
FIGURA 109 – <i>FORK SENSOR</i> .	139
FIGURA 110 – SENSORES FIBRA ÓTICA.	140
FIGURA 111 – <i>PICK-AND-PLACE</i> .	140
FIGURA 112 – POSTO 3 – INSPEÇÃO VISUAL.	143
FIGURA 113 – QUADRO ELÉTRICO.	144
FIGURA 114 – MENU PRINCIPAL DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	144
FIGURA 115 – MENU DE CONFIGURAÇÕES DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	145
FIGURA 116 – MENU POSTO 1 DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	145
FIGURA 117 – MENU POSTO 3 DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	146
FIGURA 118 – MENU PASSADEIRA DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	146
FIGURA 119 – EXEMPLO DO MENU DE ATUALIZAÇÕES DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	147
FIGURA 120 – EXEMPLO DO MENU HISTÓRICO DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	147
FIGURA 121 – MENU PARA REPOSICIONAR EQUIPAMENTO DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	148
FIGURA 122 – MENU APRESENTADO NO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO, DURANTE O REPOSICIONAMENTO DO EQUIPAMENTO.	148
FIGURA 123 – MENU INTERCALAR DE REPOSICIONAMENTO CONCLUÍDO DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	149
FIGURA 124 – MENU DE PRODUÇÃO DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	149
FIGURA 125 – MENU ERRO DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	150
FIGURA 126 – MENU PRINCIPAL COM BOTÃO ERRO DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	151
FIGURA 127 – MENU ERRO COM BOTÃO DE <i>CHECK-UP</i> DO <i>DISPLAY</i> DE CONTROLO.	151
FIGURA 128 – POSTO 1 - P1/POSTO 2 - P2.	158
FIGURA 129 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE, FORNECIDO PELA RENOLD.	163
FIGURA 130 – DISTÂNCIA ENTRE CENTROS DA PASSADEIRA INDEXADA.	164
FIGURA 131 – PROPRIEDADES DAS CORRENTES EC-10M-GL (10-B-1) (EUROCHAIN.COM).	164
FIGURA 132 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA PASSADEIRA INDEXADA.	166
FIGURA 133 – EIXOS CARTESIANOS (FESTO.COM).	167
FIGURA 134 – PROPRIEDADES DO ATUADOR DA SÉRIE EGSL (FESTO.COM).	169
FIGURA 135 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA INTRODUÇÃO DE CASQUILHOS.	170
FIGURA 136 – PROPRIEDADES DO ATUADOR DA SÉRIE EGSL (FESTO.COM).	171
FIGURA 137 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE PARA CÁLCULO DE CARGA COMBINADA.	171
FIGURA 138 – FATOR DE COMPARAÇÃO DE CARGA F_v VS. NÚMERO DE CICLOS.	172

FIGURA 139 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA MINI-GARRA (FESTO.COM).	173
FIGURA 140 – PROPRIEDADES DA MINI-GARRA DA SÉRIE HGPM (FESTO.COM).	174
FIGURA 141 – MEDIDA DA BASE DA MINI-GARRA ATÉ AO CENTRO DO ACESSÓRIO.	175
FIGURA 142 – FORÇA DE FIXAÇÃO INTERNA (FESTO.COM).	175
FIGURA 143 – SISTEMA DE COORDENADAS (FESTO.COM).	176
FIGURA 144 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO EIXO ELÉTRICO.	176
FIGURA 145 – PROPRIEDADES DO EIXO ELÉTRICO DA SÉRIE EGC (FESTO.COM).	177
FIGURA 146 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO ALIMENTADOR VIBRATÓRIO.	178
FIGURA 147 – PROPRIEDADES DO SERVOMOTOR DA SÉRIE EMMS (FESTO.COM).	180
FIGURA 148 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO ATUADOR GIRATÓRIO.	180
FIGURA 149 – CONSTANTE DA MOLA (ASSOCSPRING.CO.UK).	182
FIGURA 150 – PROPRIEDADES DO ATUADOR PNEUMÁTICO DA SÉRIE DNC (FESTO.COM).	182
FIGURA 151 – CILINDROS PARA ELEVAR ALIMENTADOR VIBRATÓRIO.	183
FIGURA 152 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DOS CILINDROS PARA ELEVAR O ALIMENTADOR VIBRATÓRIO.	183
FIGURA 153 - PROPRIEDADES DOS CILINDROS DFM (FESTO.COM).	184
FIGURA 154 – DISTÂNCIA ENTRE EIXOS ENTRE O PINHÃO E A CREMALHEIRA, PARA DETERMINAR O NÚMERO DE DENTES DO PINHÃO.	186
FIGURA 155 – MEDIÇÃO DA POSIÇÃO DOS PARAFUSOS E <i>SOFTWARE</i> COM IMAGEM PARA COMPARAÇÃO (FESTO.COM).	189
FIGURA 156 – PROPRIEDADES DA CÂMARA DA SÉRIE SBOC (FESTO.COM).	190
FIGURA 157 – LOCALIZAÇÃO DOS INTERRUPTORES DE SEGURANÇA PARA PARTES FIXAS.	191
FIGURA 158 – LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES DE PROXIMIDADE PARA PARTES MÓVEIS.	192
FIGURA 159 – PROTEÇÃO PARA PASSADEIRA.	192
FIGURA 160 – LOCALIZAÇÃO DOS BOTÕES DE PARAGEM DE EMERGÊNCIA PARA PARTES MÓVEIS.	193
FIGURA 161 – ASPETO DA ETIQUETA DE PERIGO DE CHOQUE ELÉTRICO (WEBARCONDICIONADO.COM.BR).	193
FIGURA 162 – SISTEMAS DE SEGURANÇA <i>LOCKOUT TAGOUT</i> (ECSCONSULTORIAS.COM).	207
FIGURA 163 – PAPEL DE LIMPEZA INDUSTRIAL (DIMATUR.PT).	207
FIGURA 164 – SIGNIFICADO DAS CORES.	212
FIGURA 165 – ALIMENTADOR VIBRATÓRIO PARA CARÇAÇAS.	214
FIGURA 166 – CARÇAÇAS: POSIÇÃO ERRADA VS. POSIÇÃO CORRETA.	214
FIGURA 167 – CALHA COM RASGO PARA GUIA.	214
FIGURA 168 – CÂMARA DE INSPEÇÃO E PICK-AND-PLACE ROTATIVO	215

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – EXEMPLOS DE ALGUNS TIPOS DE SENSOR.	67
TABELA 2 – EXEMPLOS DE ALGUNS TIPOS DE ATUADOR.	70
TABELA 3 – PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE RISCOS (ADAPTADO DE OPAC.IEFP.PT).	77
TABELA 4 – GRAVIDADE DOS RISCOS VS. CONSEQUÊNCIAS (ADAPTADO DE OPAC.IEFP.PT).	77
TABELA 5 – RESUMO DE RISCOS MECÂNICOS (RETIRADO DE COSTA, 2014).	81
TABELA 6 – DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.	88
TABELA 7 – EXEMPLOS DE MODELOS DE CARÇAÇAS.	99
TABELA 8 – VOLUME DE PRODUÇÃO DE ALGUMAS CARÇAÇAS PLÁSTICAS POR ANO.	103
TABELA 9 – DADOS DA PRODUÇÃO.	104
TABELA 10 – ETAPAS DE FUNCIONAMENTO.	107
TABELA 11 - ALTERNATIVA A ALGUNS DESENHOS DE PORMENOR.	120
TABELA 12 – PROPRIEDADES DO TUBO FLEXÍVEL (VOUGAFLEX.PT).	124
TABELA 13 – PROPRIEDADES FÍSICAS DA POLIAMIDA 6.6 (ADAPTADO DE: PLASTICMOULDING.CA).	126
TABELA 14 – MOVIMENTOS DO <i>PICK-AND-PLACE</i> NO POSTO 1.	141
TABELA 15 – MOVIMENTOS DO <i>PICK-AND-PLACE</i> NO POSTO 2.	142
TABELA 16 – SEQUÊNCIA DE MONTAGEM.	157
TABELA 17 – TABELA EXEMPLO.	158
TABELA 18 – IDENTIFICAÇÃO DOS ACIONADORES E SENSORES RELATIVOS AO POSTO 1.	159
TABELA 19 – IDENTIFICAÇÃO DOS ACIONADORES E SENSORES RELATIVOS AO POSTO 2.	160
TABELA 20 – IDENTIFICAÇÃO DOS ACIONADORES E SENSORES RELATIVOS À PASSADEIRA INDEXADA.	161
TABELA 21 – COEFICIENTE DE FRICÇÃO POR DESLIZAMENTO (ADAPTADO DE RENOLD).	163
TABELA 22 – RESUMO DE TODOS OS VALORES NECESSÁRIOS PARA CALCULAR A EQUAÇÃO 3.	163
TABELA 23 – DETERMINAÇÃO DA MASSA DOS COMPONENTES MÓVEIS DA PASSADEIRA INDEXADA.	165
TABELA 24 – RESUMO DE TODOS OS VALORES NECESSÁRIOS PARA RESOLVER A EQUAÇÃO 1.	166
TABELA 25 – TABELA DE CONVERSÃO.	166
TABELA 26 – VALOR MEDIDO PARA INTRODUIR BORRACHAS E RESPETIVA CORREÇÃO.	168
TABELA 27 – MASSA DA GARRA E RESPETIVO SUPORTE.	168
TABELA 28 – VALOR MEDIDO PARA INTRODUIR CASQUILHOS E RESPETIVA CORREÇÃO.	169
TABELA 29 – MASSA DOS COMPONENTES MOVIDOS PELO EIXO EGC.	176
TABELA 30 – MASSA DOS VÁRIOS COMPONENTES DO ALIMENTADOR VIBRATÓRIO.	178
TABELA 31 - VALOR CALCULADO DA FORÇA PROVOCADA PELO GABARITO (F_G) E RESPETIVA CORREÇÃO	182
TABELA 32 – LISTA DE COMPONENTES	194
TABELA 33 – CUSTO FINAL DO EQUIPAMENTO.	208

TABELA 34 – TEMPO ASSOCIADO AOS MOVIMENTOS DO POSTO 1.	211
TABELA 35 – TEMPO ASSOCIADO AOS MOVIMENTOS DO POSTO 2.	211
TABELA 36 – TEMPO ASSOCIADO AO MOVIMENTO DA PASSADEIRA.	211
TABELA 37 – TEMPO ASSOCIADO AO CONTROLO DE QUALIDADE.	212
TABELA 38 – COMPARAÇÃO DE CADÊNCIAS	213
TABELA 39 – TOTAL GASTO DE SALÁRIOS POR MÊS EM EUROS	216
TABELA 40 – ESTIMATIVA DE TEMPO DE RETORNO	216

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	Enquadramento	31
1.2	Objetivos	32
1.3	Metodologia	32
1.4	Estrutura	33
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.1.	A fabricação de componentes no setor automóvel: Conceitos de gestão	37
2.1.1	Técnicas de gestão associadas à produção de componentes para a indústria automóvel: Breve introdução	46
2.1.2	Técnicas de Garantia da Qualidade associadas à produção de componentes para a indústria automóvel: Breve introdução	51
2.2	Filosofias ligadas à conceção de equipamentos produtivos: dedicados ou flexíveis?	54
2.3	A automação ligada à produção de componentes para a indústria automóvel	57
2.3.1	Princípios gerais ligados à automação na indústria automóvel	59
2.3.2	Automação: Soluções mais comuns na indústria automóvel	63
3	DESENVOLVIMENTO	95
3.1	Caracterização da empresa que acolheu o projeto	95
3.2	Identificação do problema	98
3.3	Elencagem dos requisitos necessários para o novo equipamento	103
3.4	Filosofias de trabalho consideradas	104

3.5	Soluções prévias: Anteprojetos do equipamento	106
3.6	Definição do projeto final	111
3.6.1	Caracterização geral do equipamento: desenho de conjunto	115
3.6.2	Caracterização pormenorizada do equipamento: subconjuntos	120
3.6.3	Justificação das soluções adotadas	155
3.7	Lista de peças, componentes e dispositivos	194
3.8	Considerações finais sobre o equipamento	206
3.8.1	Movimentação do equipamento	206
3.8.2	Torre luminosa	206
3.8.3	Manutenção/Limpeza	206
3.8.4	Reaproveitamento do material	208
3.9	Estimativa de custos para o equipamento	208
3.10	Características finais globais do equipamento projetado	209
3.11	Alimentador de carcaças – Uma ideia em construção	214
3.12	Vantagens e possíveis limitações do equipamento projetado	215
4	CONCLUSÕES	221
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	227
5.1	Referências Bibliográficas	227
5.2	Outras Fontes de Informação	230
6	COMUNICAÇÕES PRÓPRIAS	237
6.1	Participações em Conferências	237
6.2	Publicações em Revistas	237
7	ANEXOS	241

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O ritmo frenético de montagem habitual na indústria automóvel, aliado à elevadíssima produtividade requerida, assim como os altos padrões de qualidade normalmente impostos, leva a que o nível de exigência, em termos de gestão dos processos, seja extremamente elevado. Neste setor industrial, é bastante comum existir uma grande interatividade entre o projetista e o montador final, com todos os outros fornecedores, no sentido de se otimizar o projeto do produto, facilitando, tanto quanto possível, a sua fabricação e garantindo, de forma exaustiva, a sua qualidade.

Neste contexto, tanto os sistemas de gestão, como a engenharia do produto e do processo, estão constantemente a ser colocados à prova, no sentido de otimizarem o custo, através da adequada seleção de materiais e processos, sem nunca colocar em causa a qualidade do produto final.

Apesar de todas as exigências acima referidas, muitos componentes utilizados nas viaturas automóveis ainda possuem uma larga incorporação de mão-de-obra, normalmente com qualificação muito restrita ao seu âmbito de operação e assente em salários moderados, em detrimento de sistemas automatizados que garantam o ritmo de produção adequado e o nível de qualidade exigido. Quando a montagem é assente essencialmente em mão-de-obra, o custo do produto estará, sempre, intimamente ligado à evolução salarial dos recursos humanos necessários, trazendo alguma incerteza às empresas deste setor em termos de competitividade. Por outro lado, se a produção for assente em sistemas automáticos, a amortização é um dado adquirido, existindo apenas incertezas na fiabilidade do processo, que conduzirão a maiores gastos, ou não, em termos de manutenção dos equipamentos e eventuais quebras de produção. Em Portugal, atendendo aos salários pagos aos operários há cerca de 15 anos, muitas foram as indústrias agregadas à produção de componentes para a indústria automóvel que se instalaram no nosso país. No entanto, parte desta indústria desapareceu ou está a desaparecer do nosso país (JOHNSSON CONTROLS, DELPHI, entre outros). Isto porque houve uma evolução dos salários, em conjunto com a adesão de outros países à Comunidade Europeia com fortes tradições na área da fabricação metalomecânica, como a Polónia, a Roménia, a Bulgária e a Hungria. Para além disso, outros países abriram-se à instalação da indústria ligada a este setor de atividade, onde os salários pagos são significativamente inferiores aos praticados em Portugal, como a Turquia, Marrocos, Tunísia, entre outros. A única via para contrariar este efeito

será a automatização, recurso a que muitos outros países europeus, onde a mão-de-obra apresenta custos muito mais elevados, têm recorrido para manter a sua indústria.

A automação é um setor fascinante que, agregado à mecânica e à eletrónica, pode apresentar um infundável leque de opções para cada problema, permitindo atingir, com alguma facilidade, os objetivos pretendidos. Para tal, basta que a Engenharia tenha a criatividade desejada que, aliada a um adequado conhecimento técnico das soluções disponíveis, permitirá encontrar as melhores soluções para cada caso em concreto.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal proceder ao projeto de um equipamento versátil, que obedeça aos seguintes requisitos:

- Permitir a redução drástica do tempo de ciclo de montagem de um dos componentes do sistema de limpa para-brisas para automóveis;
- Assegurar os altos índices de qualidade requeridos pela empresa que solicitou o projeto;
- Ser flexível, permitindo a montagem de mais de vinte diferentes referências num mesmo equipamento;
- Otimizar, convenientemente, o tempo gasto na preparação de trabalho (mudança de uma referência para outra);
- Estar baseado em soluções já experimentadas na montagem de outros tipos de componentes na indústria automóvel;
- Apresentar a fiabilidade necessária a este setor de atividade;
- Apresentar o menor custo de investimento possível, salvaguardando um ótimo compromisso entre a produtividade permitida e o custo de construção necessário (investimento).

1.3 Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Contacto com DELFINGEN PT – PORTO, S.A., no sentido de identificar o problema, recolher todos os desenhos das peças a produzir e analisar todas as variáveis agregadas ao processo de montagem;
- Realização do mapeamento de requisitos exigidos;

- Pesquisa bibliográfica sobre possíveis soluções já existentes;
- Leitura atenta da Diretiva Máquinas para o cumprimento de todas as normas de segurança no projeto dos equipamentos;
- Realização de anteprojetos para validação prévia;
- Consulta de catálogos dos componentes e dispositivos necessários;
- Realização do projeto final;
- Redação da presente dissertação.

1.4 Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente, essencialmente, em duas partes: a primeira consiste numa Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com o tema, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e/ou em periódicos científicos dedicados à matéria; e a segunda parte – o Desenvolvimento do trabalho prático propriamente dito – com a referência aos projetos desenvolvidos, às soluções encontradas, bem como ao tratamento e à análise crítica dos resultados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A FABRICAÇÃO DE COMPONENTES NO SETOR AUTOMÓVEL: CONCEITOS DE GESTÃO

2.2 FILOSOFIAS LIGADAS À CONCEÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRODUTIVOS: DEDICADOS OU FLEXÍVEIS?

2.3 A AUTOMAÇÃO LIGADA À PRODUÇÃO DE COMPONENTES PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A fabricação de componentes no setor automóvel: Conceitos de gestão

Aquando da revolução industrial, todo o trabalho feito artesanalmente foi substituído por máquinas. Entre os muitos fabricantes de automóveis, Henry Ford concebeu a sua primeira linha de montagem em 1913 e, assim, revolucionou todos os processos de produção envolvidos do seu modelo T (Figura 1). Esta linha de produção tornou-se um marco de referência para todos os métodos de produção dessa altura e todos os que seguiram até aos dias de hoje. Ao contrário do que acontecia na altura em que Ford criou a sua primeira linha de produção, hoje encontramos uma enorme variedade de componentes automóveis, que, por consequência, aumenta o aparecimento de novas indústrias, gerando, assim, uma elevada concorrência entre os fabricantes dos mesmos (ford.pt).

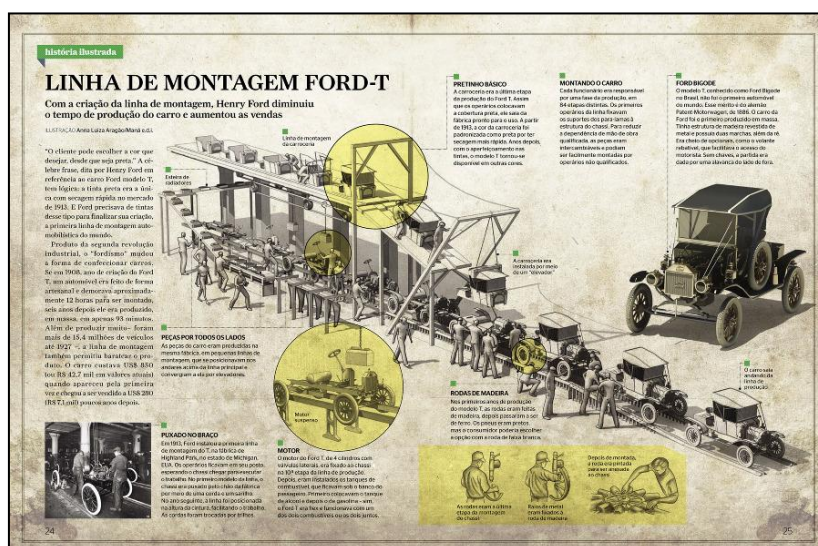


Figura 1 – Linha de Montagem Ford T (cargocollective.com).

Durante a transformação que a indústria sofreu ao longo dos anos, foi necessário adaptar as linhas de produção, para que estas se tornassem mais flexíveis e de fácil adaptação a qualquer tipo de veículo que fosse necessário fabricar. Isto porque, ao longo do tempo, com o aparecimento de novas marcas e novos modelos, tornou-se vital uma reorganização da indústria, desde a ideia inicial, passando pela fabricação, até chegar a todas as partes interessadas, como fornecedores e/ou consumidores finais (Costa, 2014).

Citando Araújo (2016), “A indústria reestrutura-se e reorganiza-se no espaço global, com uma redistribuição de responsabilidades ao longo da cadeia de valor e com a aposta em novos mercados outrora fechados ao comércio internacional e ao investimento estrangeiro. Esta

abrangência global é um dos principais elementos que caracterizam a indústria automóvel dos dias de hoje. É uma indústria altamente competitiva, claramente global, mas sujeita a fortes especificidades de carácter regional, o que tem conduzido a mudanças estratégicas de fundo nos construtores de veículos e na estrutura de fornecedores" (INTELI, 2005).

Desde cedo, a indústria tende a reduzir a zero o *stock* de produtos, uma vez que se entende essa palavra como um sinónimo de "custo". Assim sendo, para evitar este tipo de custo e satisfazer a procura do cliente com elevada eficácia e quase imediatamente, optou-se por ligar todas as atividades inerentes à produção à procura do consumidor. Este método designa-se por *Just-in-Time*, que consiste em ajustar os processos de fabricação e montagem, usando apenas a quantidade necessária de material quando é necessário (Figura 2).

"Imagine um processo concebido para produzir seis tipos diferentes de produtos, onde a procura total semanal para a gama de produtos varia para cima e para baixo em cerca de 25% e o *mix* diário de tipo de produtos está continuamente a mudar" (toyota-forklifts.com.pt).

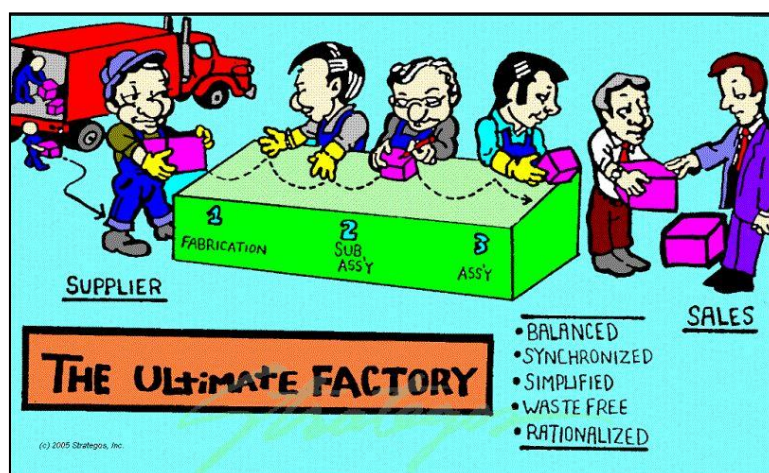


Figura 2 – Método *Just-in-Time* (strategosinc.com).

O *Just-in-Time* garante a compra ou produção apenas do que é necessário e quando necessário. Deste modo, o tempo dos processos é planeado cuidadosamente e os procedimentos de produção são otimizados, o que garante uma melhor gestão de custos, uma vez que o desperdício é menor (matéria-prima, energia, deslocações), o que, por consequência, atinge diretamente a linha de produção, tornando-a mais fluída e reduzindo, assim, os *bottlenecks* (estrangulamentos) da produção. Em suma, para que esta filosofia tenha o devido sucesso, existem determinados aspetos a tomar em consideração (Figura 3): rapidez e flexibilidade; fabricar apenas o que é necessário; diminuir tempos de espera; eliminar, se possível, os *stocks* e não produzir em demasia, para não os criar ou aumentar; dar garantia da qualidade do produto fabricado; e por último, mas não menos importante, contratar colaboradores competentes e

polivalentes, de modo a que se adaptem a qualquer tipo de função e sejam capazes de cuidar do seu posto de trabalho (Fonseca, 2013).

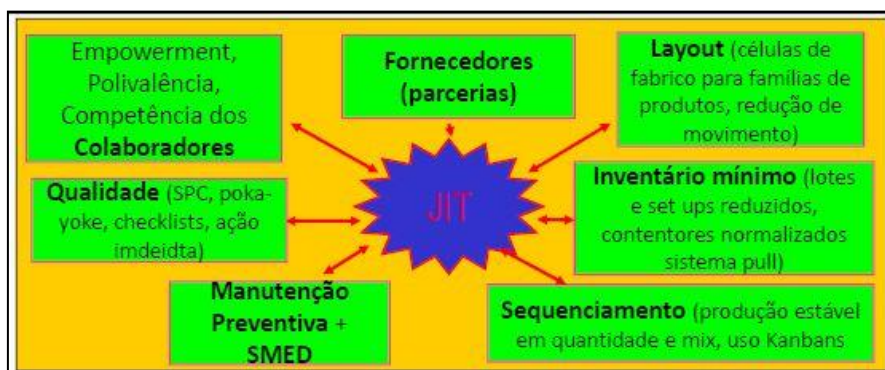


Figura 3 – Esquema da filosofia Just-in-Time (retirado de Fonseca, 2013).

Existem inúmeros aspetos de elevada importância que permitem que uma empresa se destaque comparativamente a outra, isto é, que se realce perante os clientes. Assim, devem-se tomar em consideração os seguintes aspetos: Qualidade, Marketing, Diversificação e Personalização de Modelos. No entanto, todos os fatores contribuem para que uma empresa apresente componentes competitivos, para que se possa apresentar no mercado como um fornecedor viável (Figura 4).



Figura 4 – Fatores Qualidade, Capacidade e Mercado de trocas (Adaptado de El Maraghy, et al., 2012).

Qualidade¹

Os OEM (*Original Equipment Manufacturers*) forçam os fornecedores a baixar os preços e a cumprir os prazos de entrega combinados. Contudo, as duas ações apresentadas não podem influenciar e/ou interferir com a qualidade imposta.

A qualidade é, cada vez mais, um fator a ter constantemente em conta para o sucesso de uma empresa, sucesso esse que é avaliado pelo *feedback* constante de clientes, podendo, assim, melhorar os produtos, processos e serviços, para que estes satisfaçam as necessidades de todas as partes interessadas, como clientes e fornecedores. De notar, ainda, que existe um custo associado a uma elevada qualidade, custo esse que define o valor final de um produto. Resumindo, permanecem três fatores agregados à qualidade, sem relação direta com o produto (Anupindi, et al., 1998; Jocou, et al., 1992):

- Custo – Valor atribuído a um produto e que o consumidor está disposto a dar para o adquirir (incluindo, ainda, todos os custos envolvidos na sua utilização);
- Prazos de entrega – Tempo que o consumidor aguarda pelo produto;
- Qualidade.

Em todas as indústrias, existe um enorme e variadíssimo leque de clientes e cada um atribui uma diferente importância aos aspetos apresentados anteriormente: uns optam por custos mais baixos e outros por tempos de entrega mais curtos. Contudo, o último aspeto referido – a qualidade – tem vindo a marcar a sua presença ao longo do tempo. Na Figura 5 pode-se ver a relação existente entre o custo, o prazo de entrega e a qualidade.

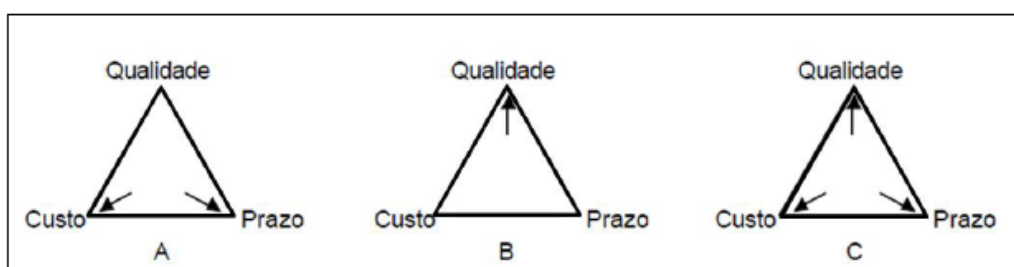


Figura 5 – Relação custo, prazo de entrega e qualidade (Adaptado de Jocou, et al., 1992).

Inicialmente, os aspetos mais importantes foram o custo dos produtos e os prazos de entrega. Esta situação foi mantida como solução ideal durante décadas, como se pode observar em “A”. Porém, com a evolução do mercado, o cliente optou por procurar relacionar a qualidade desejada com o custo de aquisição, generalizando que o custo de um dado produto está

¹ Segundo a norma ISO (Organização Internacional de Normalização), a Qualidade é “a totalidade de características de um produto que lhe conferem aptidão para satisfazer necessidades implícitas ou explícitas”.

diretamente relacionado com a qualidade do mesmo, ou seja, quanto melhor qualidade tiver, maior será o custo do produto. Contudo, mesmo tendo um custo associado, a palavra "qualidade" estará sempre presente nas empresas, como se pode verificar em "B", para que estas possam evoluir e acompanhar o mercado, garantindo, assim, a satisfação dos consumidores. Todavia, para que haja uma satisfação de ambas as partes – empresa e clientes – é necessário que exista um perfeito equilíbrio entre o custo de aquisição, o prazo de entrega e a qualidade, como se verifica em "C" (Reis, 2001).

Marketing

O Marketing é um conjunto de métodos e meios que uma organização dispõe para analisar os produtos e serviços que o cliente necessita, satisfazendo assim todas as necessidades do consumidor (Figura 6). Para que isto se cumpra, o Marketing recorre a todas as ferramentas que estão ao seu dispor, ferramentas essas que estão intrinsecamente presentes no quotidiano das pessoas, podendo, desta forma, despertar interesse no produto que está a ser promovido. Nesse sentido, o Marketing recorre a:

- Catálogos;
- Folhetos;
- *E-mails*;
- Jornais;
- *Outdoors*.

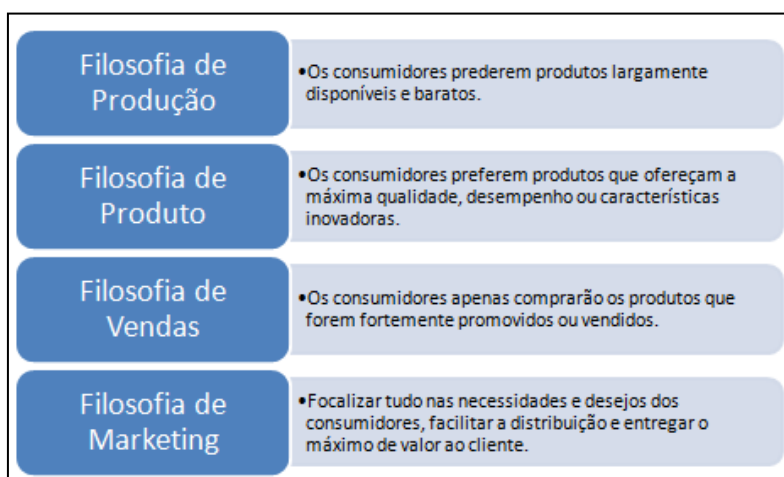


Figura 6 – Relacionamento Marketing vs. Mercado (Adaptado de: ff.ul.pt).

O Marketing pode ser dividido em três grandes grupos: marketing de massa, marketing segmentado e marketing individualizado.

O Marketing de massa foca os produtos produzidos em grandes quantidades. Tem, também, como objetivo minimizar os custos e aumentar os lucros. Como já foi referido, o Modelo T foi o primeiro veículo a ser produzido em série e Henry Ford criou uma linha de montagem que

consistia em produzir automóveis em elevadas quantidades, para que este tivesse baixo custo de obtenção, dando-se assim início à era do "fordismo" (Hu, 2013). Para reduzir os custos de fabricação e de venda deste modelo, a sequência de montagem estava bem estabelecida, podendo-se verificar isso na célebre frase de Henry Ford: “os meus clientes podem escolher um Ford T de qualquer cor, desde que seja preto” (Ford (s.d.) citado por Hu, 2013).

O marketing segmentado visa o interesse de um determinado conjunto de consumidores, podendo assim identificar de uma forma mais rápida e eficaz, as necessidades dos diferentes setores, sejam estes do ramo automóvel ou outros (Figura 7). O marketing de segmentação encontra-se entre o marketing de massa e o marketing individual.

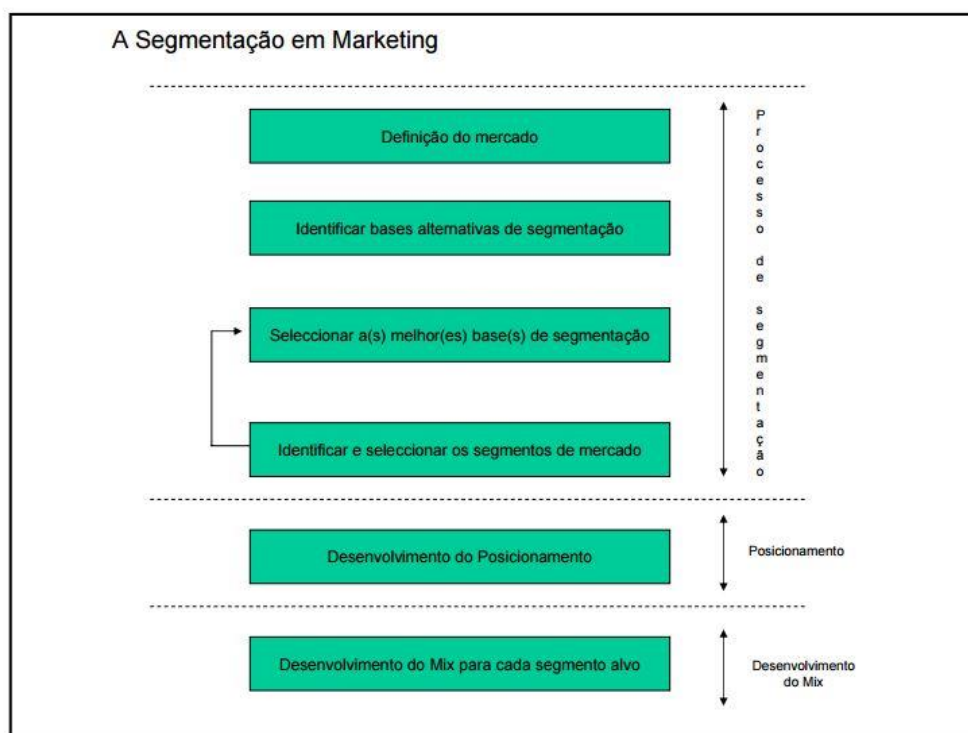


Figura 7 – A segmentação em Marketing (ff.ul.pt).

Por último, surge o marketing individualizado que se destaca dos anteriores, uma vez que adota estratégias mais personalizadas de acordo com o que o consumidor procura. Deste modo, consegue conhecer as necessidades do mesmo, ou seja, a relação direta com a necessidade já definida pelo consumidor e permite que a empresa conheça os interesses do cliente de uma forma mais específica. Contudo, cada cliente não é tratado de uma forma única ou especial, muito pelo contrário: cada cliente favorece a empresa devido ao seu relacionamento com a mesma (Rizzo, 2005).

Retomando a ideia de Henry Ford e comparando-a com a indústria dos dias de hoje, era impensável aplicar um marketing de massa na indústria atual, uma vez que existe uma enorme variedade de automóveis, componentes e extras associados aos mesmos, que estão disponíveis

para satisfazer a procura do consumidor, tornando, desta forma, cada caso um caso independente.

Observando a Figura 8, é possível constatar a evolução desde o marketing de massa, passando pelo marketing segmentado, até ao marketing individual.

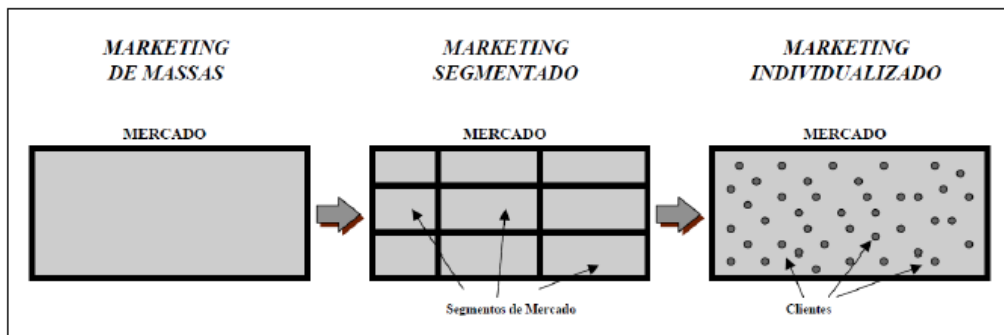


Figura 8 – Evolução do Marketing (Brito, 1998).

Na Figura 9, pode-se observar o processo de Marketing num conceito geral.

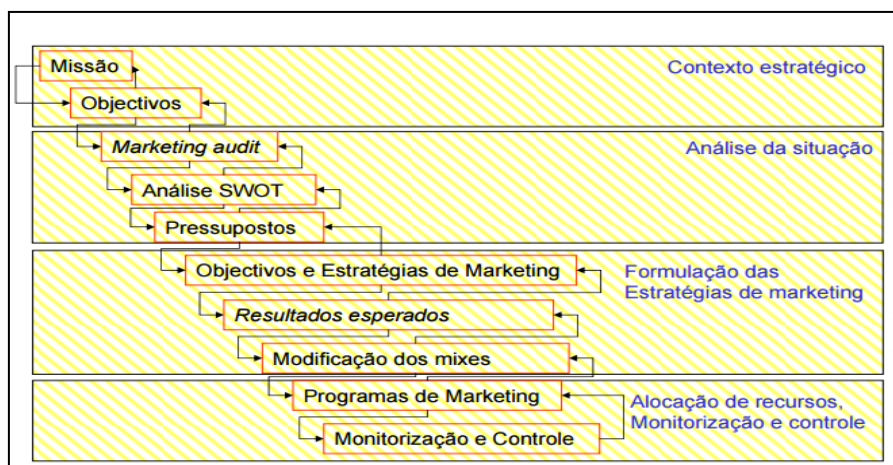


Figura 9 – Processo de Marketing (ff.ul.pt).

Diversificação

Independentemente do setor, as empresas sofrem alterações diárias devido à competição existente atualmente. Assim sendo, as empresas necessitam de uma permanente atualização, desde o processamento de ideias, passando pelo ambiente fabril, até concluir o projeto inicial, no sentido de dar resposta aos interesses e necessidades do consumidor, resposta essa que tem, forçosamente, de ser quase imediata para o conseguir satisfazer.

As respostas às necessidades do cliente passam pela implementação de estratégias, que visam os requisitos do mesmo, bem como melhorar e rentabilizar o processo, para que a empresa consiga fazer uma melhor gestão de produção e produtos. Segundo Porter (1990), os fatores apresentados de seguida podem ser considerados a base de competitividade empresarial, tal como se pode também constatar na Figura 10:

- Condição de fatores – o progresso de produção permite entender as tendências mais valorizadas e as prováveis quedas das mesmas, podendo, assim, definir as que se irão destacar no futuro;
- Condição de exigência – o estudo permite encontrar aspetos críticos e as tendências que se encontram em vigor, as que provocam mudanças significativas e, por último, as que alteram por completo o mercado, a escolha do consumidor, os produtos e a produção;
- Atividade de apoio e suporte – a atividade suporta o bom funcionamento do mercado;
- Estratégia, estrutura e rivalidade empresarial.

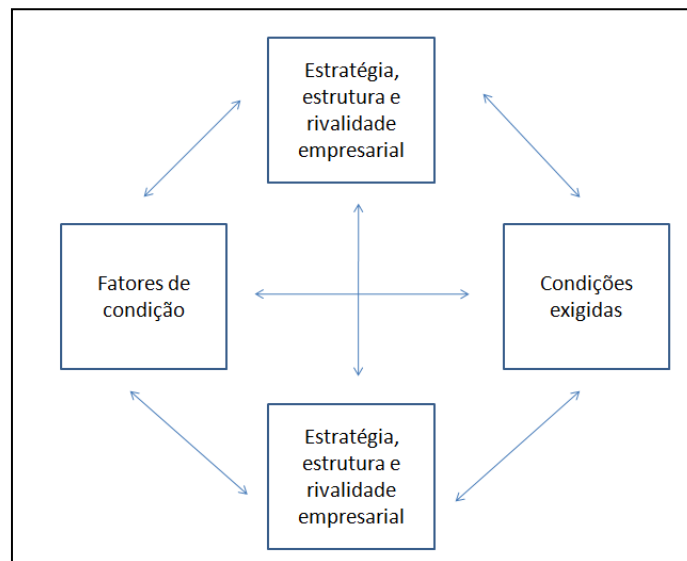


Figura 10 – Determinantes da competitividade empresarial (Adaptado de Porter, 1990).

Segundo Porter (1990), as entidades empresariais mantêm-se competitivas quando estão em constante atualização. Caso isto não se verifique, as empresas são forçadas a procurar mão-de-obra barata, recorrendo, por vezes, à mudança de país para o conseguirem.

Como tem sido referido, a indústria automóvel sofre enormes alterações, que estão direccionadas para um constante e célere desenvolvimento, para que as empresas consigam dar resposta a tudo o que lhes é proposto. Este desenvolvimento permite oferecer, desta forma, resposta com produtos finais de melhor qualidade, mais fidedignos, que satisfazem a exigência imposta pela sociedade de consumo, como por exemplo, produtos que garantam a segurança do condutor e dos passageiros, ainda que prejudiciais ao meio ambiente, e produtos que ofereçam melhor comodidade aos ocupantes do automóvel, sem nunca esquecer, claro, a rentabilização dos custos. Quando conjugados os aspetos referidos anteriormente, a competitividade entre o meio empresarial do setor automóvel tende a aumentar, para que cada marca se possa destacar perante a sociedade.

Desde os primórdios tempos do trabalho artesanal, a indústria tem vindo a sofrer alterações muito significativas, começando no trabalho manual/artesanal até à época de Henry Ford, que

se destaca pela produção em massa, passando pelas políticas de marcas e variedades de produto de Sloan², continuando pela produção magra (*lean manufacturing*³) até chegar à estratégia dos dias de hoje – produzir por encomenda, evitando *stocks*, desperdícios e custos de armazenamento. Estas mudanças, ao longo do tempo, fizeram com que algumas indústrias fabricantes de veículos de luxo fossem encaradas de maneira diferente, deixando de ser vistas como produtores artesanais. O mundo competitivo sofreu alterações consideráveis, mudando também as políticas pelas quais as empresas se regem para competir (Holweg, 2008).

Personalização dos modelos

A personalização ou *design* dos modelos é o passo mais importante para a criação de um produto, uma vez que, durante a concepção do *design* do mesmo, implica definir, primeiramente, a forma e tamanho desejado, bem como a quantidade e polivalência deste, tendo sempre em consideração a exequibilidade do produto. Todavia, durante o estudo do produto, o fabricante deverá ter sempre em conta as normas em vigor, pois um determinado produto pode ser rejeitado ou até mesmo impossibilitado de ser produzido caso não esteja dentro das normas e requisitos impostos.

O estudo da personalização ou *design* dos modelos segue determinados passos que requerem o seu cumprimento: a realização de uma *checklist* para garantir que tudo o que foi imposto para a concepção do modelo foi cumprido; e a tentativa de ir ao encontro dos requisitos impostos pelo consumidor (Ulrich, et al., 1995).

Atualmente, o *design* tem um impacto enorme na indústria, pois todos os produtos fabricados têm como base a imagem, o conteúdo tecnológico e a capacidade de personalização, podendo ser isto verificado nos automóveis que são produzidos nos dias de hoje (Figura 11).

² Presidente da *General Motors* (GM), Sloan defendia a ideia de um carro "para cada bolso e propósito".

³ Este tipo de produção preza pela redução de desperdícios, melhoria contínua dos processos e constante resposta às exigências do cliente num curto espaço de tempo.

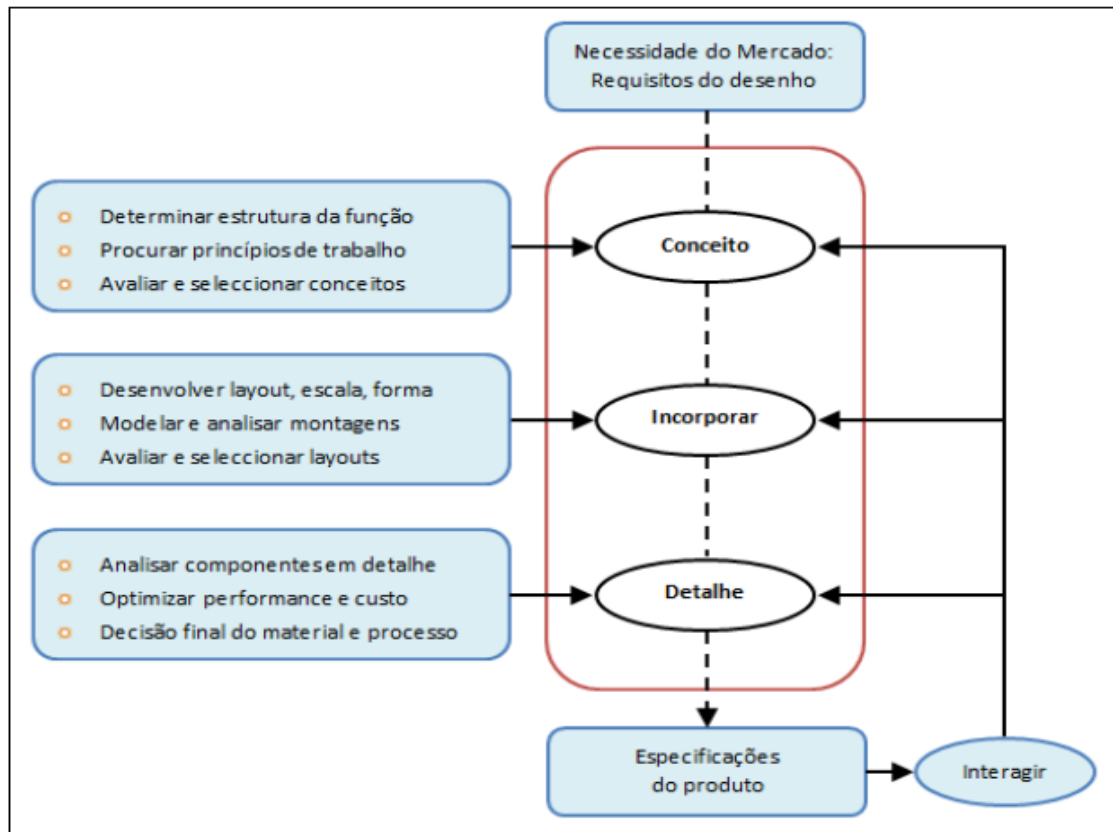


Figura 11 – Fluxo de processo de um projeto de engenharia, desde a identificação da necessidade até à especificação do produto (Araújo, 2016).

2.1.1 Técnicas de gestão associadas à produção de componentes para a indústria automóvel: Breve introdução

Como foi referido anteriormente, a competitividade no setor da indústria automóvel aumentou proporcionalmente ao crescimento desta indústria, o que levou a que o mercado se encontre, atualmente, saturado. Esta saturação é fruto da diversificação de produtos, que originou uma elevada discrepância entre a oferta e a procura, resultando num excedente de produto. Esta situação propicia os fabricantes a sentir necessidade de estudar e reavaliar estas circunstâncias (INTELI, 2005).

Algumas das medidas que foram tomadas para reorganizar a indústria e contornar o excedente de produção passam por contratar outra empresa para desenvolver um determinado produto ou realizar um determinado projeto na empresa contratante. Esta metodologia é conhecida como *outsourcing* – estratégia de modularização, partilha de plataformas e componentes – aumentando, desta forma, a interação, a comunicação e a responsabilidade entre todas as partes interessadas, como por exemplo OEM e fornecedores, relativamente à criação, ao desenvolvimento e ao fabrico (INTELI, 2005).

A indústria automóvel tem sido dominada pela orientação para a subcontratação de um reduzido número de grandes empresas por partes dos OEM, fazendo, deste modo, com que estes assumam um papel de elevada importância na influência ao nível técnico, tecnológico e económico (Veloso, et al., 2000; Oliveira, 2009).

A transformação deste papel e a importância acrescida dos fornecedores de componentes provém de diversos fatores, destacando-se os seguidamente apresentados (Veloso, et al., 2000):

- Transferência de responsabilidade dos fabricantes para os fornecedores, especialmente ao nível do *design* e engenharia, o que resulta na emergência de autênticos fornecedores globais (Figura 12);
- Maior peso do investimento no setor por parte dos fornecedores, devido à participação no processo de produção;
- Aumento da importância dos fornecedores de componentes para automóveis, como fontes de criação de emprego espalhadas pelo mundo, sendo foco de atenção privilegiada quer por parte das empresas, como dos governos dessas zonas;
- Responsabilidade por uma enorme parte do investimento na indústria automóvel.

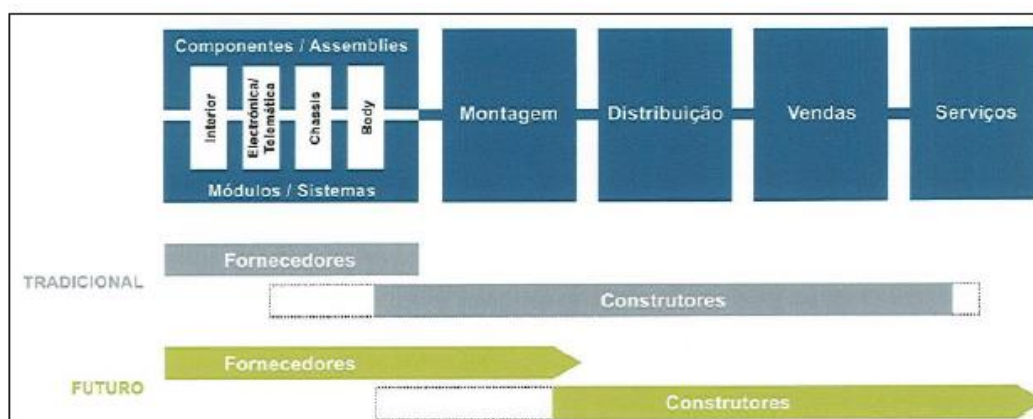


Figura 12 – Evolução da passagem de responsabilidade por parte dos OEM para os fornecedores (Felizardo, 2004).

Os progressos nas linhagens de valor têm vindo a destacar-se mais pelas diferenças de funções e capacidades do que pelo próprio posicionamento relativo às empresas de montagem. Este facto pode ser verificado pela capacidade que determinados fornecedores possuem de se transformarem em fabricantes de sistemas, tendo capacidade própria para se abastecerem e desempenharem tarefas de desenvolvimento e projeto (Reis, 2001). Até 1998, a estrutura do mercado associado ao sector automóvel era dominado pela produção de componentes para o motor, mecanismos de transmissões e travões, componentes elétricos e produção de interiores, devido à importância do projeto *Renault*.

Na sua maioria, os fornecedores nacionais situam-se em níveis inferiores, sendo encarados particularmente como “Fabricantes de Componentes” ou “Fabricantes de Montagem” (INTELI, 2005).

O setor automóvel sofreu transformações tanto a nível estrutural como tecnológico, levando a uma profunda e intensa reestruturação dos fornecedores de componentes e subsistemas. Algumas dessas reestruturações têm origem em movimentações, como a subcontratação de componentes e subsistemas. Deste modo, os fornecedores começaram a cooperar com os OEM na conceção e desenvolvimento. Por conseguinte, os OEM deixaram de ser produtores autossuficientes, para se tornarem, atualmente, detentores de uma marca, do conceito de viaturas, do *product engineering*, da montagem (ou *assembly*), do acabamento e da distribuição global. Contudo, são os fornecedores dos OEM que fabricam as peças, acabando por fazer parte da sua materialização.

A seleção de fornecedores por parte da marca e da fábrica tornou-se tão seletiva, que acabou por se verificar uma redução dos mesmos. Este facto deve-se à exigência imposta por parte dos fabricantes que foca a capacidade económica e financeira dos fornecedores que conseguem “resistir”, aptos para suportar uma produção *lean* e capazes de trabalhar em JIT (*Just-in-time*) em diversas frentes.

A reestruturação passou, também, pela partilha dos custos e riscos entre o construtor e o fornecedor, quando o assunto é o desenvolvimento inicial de um produto. Estes princípios são válidos para fornecedores de 1.ª e 2.ª linha (Ribeiro, et al., 1999).

Segundo os estudos no âmbito do IMVP - *International Motor Vehicle Program*, atualmente, os fornecedores são mais caracterizados e distinguidos pelas suas funções do que pela localização no fluxo de fornecimento às empresas de montagem, dando origem à seguinte divisão (Araújo, 2016):

- Fabricantes de Componentes – especialistas num determinado processo, como as empresas de estampagem ou de injeção de plástico, sendo, na sua maioria, fornecedores indiretos dos OEM. Os seus clientes diretos são outros fornecedores situados num nível mais elevado na hierarquia;
- Fabricantes Montadores – especialistas do processo com capacidades adicionais de maquinaria e montagem. São, normalmente, responsáveis pelo *design*, projeto e teste dos produtos que fabricam, mas não pelo projeto do subconjunto ou dos restantes componentes que o integram, sendo, tipicamente, fornecedores indiretos;
- Fabricante de Sistemas – fornecedores capazes de desenvolver e cumprir as tarefas de *design*, projeto, desenvolvimento e produção de sistemas complexos. Podem fornecer os OEM diretamente ou indiretamente, através dos “integradores de sistemas”;

- Integradores de Sistemas – fornecedores aptos para integrar componentes, subconjuntos e sistemas em módulos, que são colocados diretamente pelo fornecedor nos OEM.

A implementação de novos modelos de relacionamento com os clientes finais requer uma estrutura organizacional interna das empresas do setor automóvel, acima de tudo nos fornecedores de componentes. Para enfrentar o mercado com níveis de eficiência elevados, a indústria de componentes sujeita-se a pressões, moldando-se às formas de organização e métodos de produção dos OEM ou dos fornecedores superiores. Esta pressão é visível tanto ao nível de custos e preços finais, como ao nível da qualidade global dos produtos, sendo as empresas subcontratadas também abrangidas pela pressão supracitada (Abreu, 1995).

Os fornecedores de 1.^a linha adotam as mesmas tendências dos OEM, isto é, defendem a posição de subcontratar fornecedores de linhas inferiores. Contudo, os fornecedores de 1.^a linha não abdicam da inovação e das competências tecnológicas em detrimento dos fornecedores de nível mais baixo, como por exemplo fornecedores de 2.^a ou 3.^a linha. A níveis mais baixos (fornecedores de 2.^a linha), as pressões são direccionadas para a sua capacidade de redução de custos, bem como a sua capacidade de resposta face aos requisitos impostos em termos de qualidade e prazos de entrega (Figura 13).

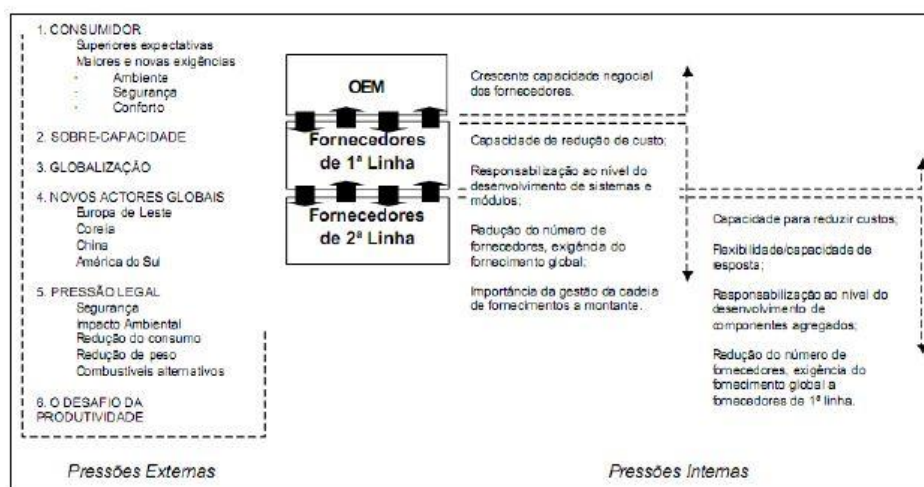


Figura 13 – Pressões impostas aos fornecedores (Pressão Externa vs. Pressão Interna) (Reis, 2001).

Por último, o papel do consumidor final é deveras importante, pois passa por ator ativo, exibindo as suas expectativas, bem como um grau de exigência mais elevado.

Normas

Relativamente aos parâmetros legais, a indústria automóvel é altamente rigorosa e limitada, no que diz respeito a assuntos como a segurança e o meio ambiente.

Conforme o IPQ (Instituto Português da Qualidade)⁴, a normalização incentiva a redução de custos, tanto para o fornecedor como para o cliente, o incremento de transparência do mercado, a ajuda na criação e implementação de novos negócios e a manutenção dos existentes. Deste modo, é garantido que os clientes obtenham um grau adequado de qualidade nos produtos/serviços que consomem, bem como segurança e respeito pelo meio ambiente. Com a aplicação de normas, as trocas comerciais foram, igualmente, facilitadas, na medida em que, para além da redução dos custos, reduziram-se também as assimetrias de informação entre a oferta e a procura.

Para ganhar lugar no mercado e na cadeia de valor, os OEM e os fornecedores carecem de inovação para os seus produtos. Todavia, para que as margens de lucro sejam positivas, é necessário diferenciar as suas marcas e enaltecer o seu desempenho, ao mesmo tempo que se aceleram os ciclos de produção, reduzindo o seu tempo e assegurando, assim, a qualidade imposta e os tempos de entrega. Relativamente à redução de custos de desenvolvimento e à complexidade de gestão, estas exigem uma proximidade entre os OEM e os fornecedores, pelo que os primeiros precisam de direcionar o desenvolvimento e o *design* do produto para cumprir os requisitos impostos por parte das OEM (IBM, 2009). Estes requisitos interligam os diferentes intervenientes da cadeia de valor, tendo objetivos em comum, sendo estes fundamentais nas relações entre as equipas de engenharia e todas as partes interessadas, incluindo os fornecedores e os clientes.

De modo a garantir a qualidade dos seus produtos, os OEM efetuam, com alguma frequência, auditorias aos fornecedores. Estas têm como finalidade encontrar divergências, lacunas e/ou falhas nos requisitos impostos nos produtos, no processo e no funcionamento da empresa. Este controlo visa a redução de custos de reorganização, no caso de falhas, e a diminuição do risco de perda de qualidade e características nos produtos, exigidas pelos clientes. A aplicação de normas e a realização de auditorias visam, também, a melhoria contínua dos produtos fabricados, na relação entre OEM, fornecedores e clientes.

A utilização de normas abrange toda a indústria e, como tal, o setor automóvel não é exceção no que se refere aos níveis de exigência de condições relativas à qualidade do produto, produtividade e melhoria contínua. Para cumprir estas metas, é solicitado aos fornecedores, por

⁴ Instituto que tem por missão a coordenação do sistema português da qualidade e de outros sistemas de qualificação regulamentar que lhe forem conferidos por lei, como a promoção e coordenação de atividades que visem contribuir para demonstrar a credibilidade da ação dos agentes económicos, bem como o desenvolvimento das atividades inerentes às suas funções de Instituição Nacional de Metrologia e de Organismo Nacional de Normalização.

parte dos fabricantes, que se submetam às rigorosas especificações técnicas estabelecidas pelas normas de gestão da qualidade do setor automóvel, conhecidas por ISO/ TS 16949.

As especificações técnicas, referidas anteriormente, substituem e uniformizam as normas dos sistemas de qualidade na indústria automóvel. Estas conseguem, também, identificar os requisitos que necessitam de ser cumpridos pelos sistemas de qualidade para o desenvolvimento, fabrico, instalação e serviço de qualquer tipo de produto desta indústria. A certificação passou a ser exigida pelos clientes, deixando, assim, de ser opcional por parte dos fornecedores, fazendo, mais uma vez, com que a competitividade se destaque no mercado automóvel (aeportugal.pt).

Resumidamente, a certificação ISO/TS 16949 implica:

- Reduzir o número de reconhecimentos de 3.ª parte que a organização tem de manter, admitindo a libertação de tempo e recursos para outras atividades ligadas à qualidade e oportunidade de melhoria que tragam mais-valias ao negócio;
- Reduzir o número de auditorias de 2.ª parte;
- Fazer uma abordagem comum ao sistema da qualidade na cadeia de fornecimento, permitindo, às organizações, um trabalho em conjunto mais eficaz;
- Utilizar/criar uma linguagem comum, que implica uma melhoria na compreensão dos requisitos de qualidade, facilitando a implementação e manutenção do sistema da qualidade.

2.1.2 Técnicas de Garantia da Qualidade associadas à produção de componentes para a indústria automóvel: Breve introdução

A palavra "qualidade" ganhou um novo significado na indústria automóvel ao longo das duas últimas décadas. Atualmente, o termo "qualidade" já não é associado apenas a produtos livres de defeitos, tendo, agora, um significado mais amplo que envolve a satisfação completa do cliente sobre um determinado produto e sobre a empresa que o oferece.

A nova definição de "qualidade" inclui desempenho, conforto, adequação ambiental e acessibilidade. No entanto, acrescenta ainda elementos conhecidos como "qualidade de produção", relacionados com a capacidade do fabricante para produzir constantemente melhor. Nos últimos anos, ocorreram outras duas mudanças significativas de modo a aumentar a qualidade e a consciência de qualidade na indústria automóvel. Uma delas é o movimento da indústria, antecipando os desejos do cliente, em vez de dar respostas quando os clientes o pretendem. Cada vez mais o setor automóvel possui trabalhadores cuja função passa por

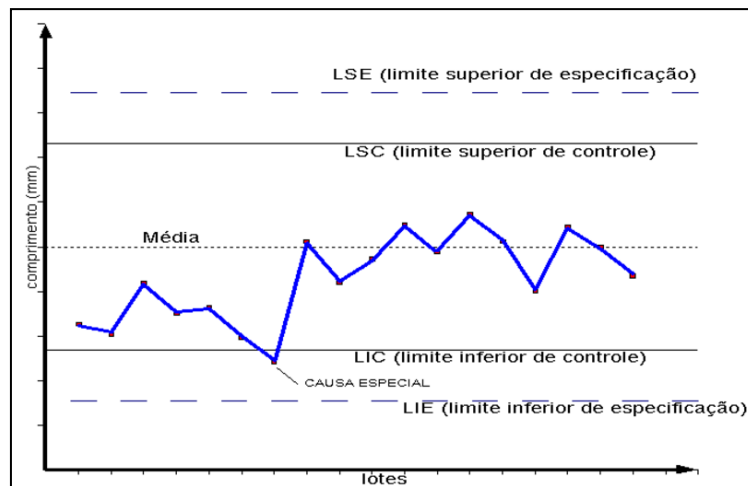
estudar e saber mais sobre os consumidores do amanhã, enquanto, no passado, a indústria contava com os comentários dos clientes para recolher informação sobre o produto desenvolvido. Outra mudança importante foi o aumento da proximidade entre os fabricantes e os fornecedores. Antigamente, os fornecedores eram considerados e selecionados tendo em conta o preço e a capacidade de entrega. Hoje em dia, os fornecedores são parceiros próximos dos fabricantes. Este aumento de confiança entre fabricante e fornecedor serve para formar relacionamentos que se tornam vitais para a melhoria da qualidade na indústria automóvel (Juran, 1998).

Ao longo dos anos, surgiram pessoas que deram contributos relevantes para os conhecimentos na área da qualidade, como por exemplo:

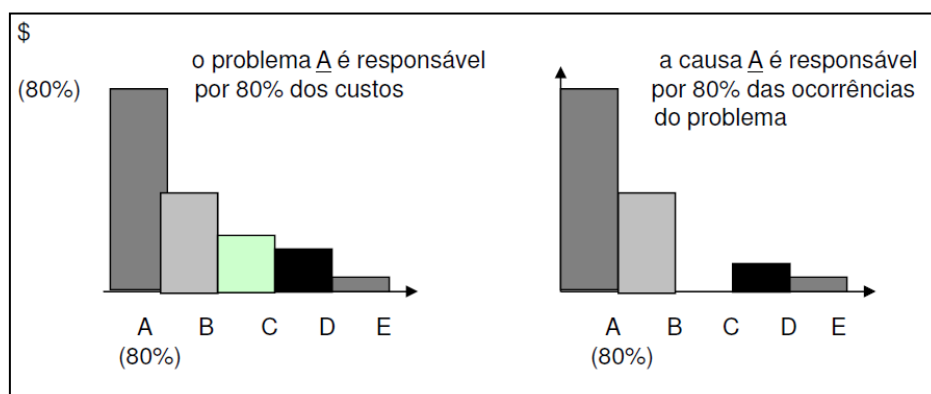
- Crosby – Envolvimentos da gestão de top, 4 Pilares da Qualidade (conformidade com os requisitos, prevenção, zero defeitos);
- Deming – PDCA (Plane - Do - Check - Act), melhoria contínua;
- Feigenbaum – Controlo/Gestão da qualidade total;
- Ishikawa – Diagramas de causa-efeito, controlo de qualidade em toda a organização, Cliente interno;
- Juran – Trilogia da qualidade (planeamento, controlo e melhoria), medida dos custos da qualidade, análise de Pareto.

Todas estas personalidades deram o seu contributo para que a palavra "qualidade" obtivesse novos significados, pois todos eles tinham diferentes definições da mesma. Com estes contributos, apareceram novos métodos capazes de avaliar a qualidade dos produtos fabricados. Tome-se como exemplo o seguinte:

- Cartas de controlo – São uma das sete ferramentas de Ishikawa e, através da representação gráfica (Figura 14), mostram uma sequência de dados que revelam quando um processo se altera, mostrando as causas de variação e a necessidade de intervenção. Deste modo, evita-se que sejam tomadas decisões e realizadas ações desnecessárias devido a variações no processo. Estas cartas são utilizadas, especialmente, para controlar processos repetitivos em que é possível medir características ou classificar itens para determinar se um processo está ou não em controlo estatístico (Fonseca, 2013).



- Análise de Pareto – também conhecida como curva ABC, permite realizar um controle mais apurado dos produtos em *stock*, bem como encontrar uma redução de custos sem comprometer o nível de atendimento ao cliente. Outra utilização bastante comum é a sua aplicação na procura de causas e efeitos na gestão da qualidade, com o objetivo de descobrir as principais causas que criam o maior número de defeitos (Figura 15).



- Auditorias – A norma ISO 9001:2008 classifica requisitos para um sistema de gestão da qualidade numa organização (Figura 16). A certificação visa proporcionar confiança, demonstrando que uma organização possui um sistema de gestão conforme os requisitos desta norma e evidenciando que este sistema é suficientemente capaz de atingir os objetivos desejados (produtos conformes e aumento da satisfação do cliente). Esta norma orienta-se segundo princípios da qualidade total e da melhoria contínua, sendo, deste modo, coerente com os modelos de negócios de muitas empresas e contribuindo para a melhoria do desempenho. As auditorias externas, realizadas por entidades certificadoras, ajudam as empresas auditadas a encontrarem não conformidades que devem ser corrigidas e providenciam oportunidades de melhoria que devem ser aproveitadas. Para grandes organizações, uma auditoria significa uma

informação objetiva e independente da gestão sobre a presente situação da organização; para pequenas organizações, as auditorias permitem que estas tomem conhecimento das normas, regulamentos, legislações, gestões de processo e negócios. Empresas que implementam e certificam os seus sistemas e produtos segundo a norma ISO 9001 experimentam um desempenho consideravelmente maior, em termos de retorno dos ativos (Fonseca, 2013).



Figura 16 – IPQ – Certificação NP EN ISO9001:2008 (ipq.pt).

2.2 Filosofias ligadas à conceção de equipamentos produtivos: dedicados ou flexíveis?

A automação é caracterizada pelo recurso a vários conceitos tecnológicos, como a mecânica, a eletrónica e a informática, que gerem todo o processo a que foram destinados de uma forma autónoma. Quando um processo é executado sem nenhum tipo de intervenção humana, é designado como um processo automático, pois consegue executar o seu trabalho tal como processar um produto, inspecionar o mesmo, proceder à montagem e até mesmo manipular com uma mão-de-obra humana quase inexistente. A título exemplificativo, pode-se apresentar máquinas como: o controlo numérico computadorizado (CNC), como se pode observar na Figura 17, os sistemas de montagem automatizados de componentes e os sistemas de manipulação (Figura 18) e transporte que estabelecem comunicação entre os diferentes postos de trabalho (Araújo, 2016).



Figura 17 – Fresadora CNC (blog.misumiusa.com).

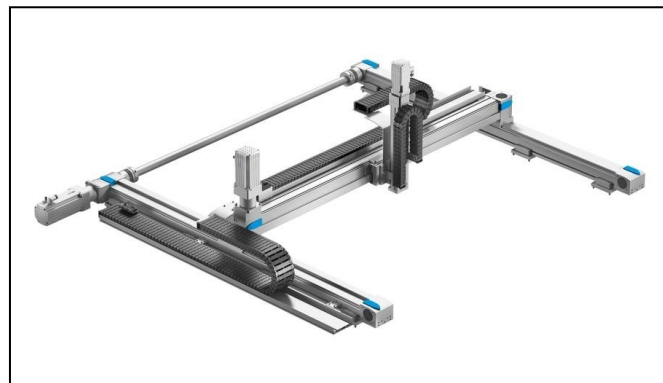


Figura 18 – Exemplo de sistemas de manipulação (interempresas.net).

De acordo com Groover (2000), podem-se classificar os sistemas automáticos da seguinte forma (Figura 19):

- Automação fixa;
- Automação programável;
- Automação flexível.

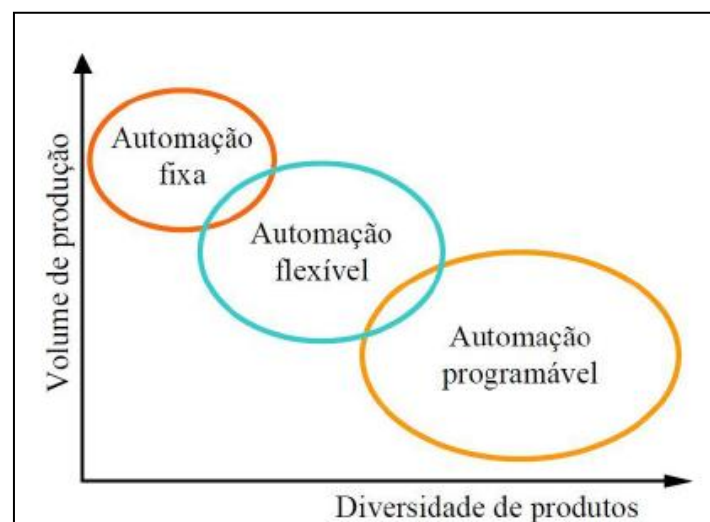


Figura 19 – Classificação de sistemas automáticos (Volume de produção vs. Diversidade de produtos) (adaptado de Groover, 2000).

Analisando a Figura 19, é possível observar como variam os três tipos de automação apresentados anteriormente, em função do volume de produção e diversidade de produtos. Isolando a automação fixa, constata-se que, apesar de existir um enorme volume de produção, a diversidade de produtos é reduzida. Contudo, para o caso de haver uma diversidade de produtos muito elevada, o volume de produção irá descer drasticamente, podendo ser isso observado na região afetada pela zona da automação programável. Por último, resta referir a automação flexível, que sustém o equilíbrio entre o volume de produção e a diversidade de produtos, pois este tipo de automação tem uma boa adaptação às mudanças de produto (Chryssolouris, et al., 2010).

Automação fixa

Durante o processo de operações, o equipamento tem uma configuração própria, que não pode ser alterada durante toda a sua vida útil. O tipo de operações associadas a este tipo de automação tem, normalmente, movimentos bastante simples, como por exemplo movimentos lineares ou rotativos, podendo ou não executar os dois movimentos em conjunto. A complexidade deste tipo de sistemas passa pela coordenação de várias operações num componente. Assim, as particularidades mais importantes da automação fixa são:

- Elevado investimento inicial no projeto ou aquisição do equipamento;
- Elevados volumes de produção;
- Reduzida diversidade de produtos.

O recurso a este tipo de sistema ou equipamento é justificado quando o volume de produção é alto, o que possibilita o retorno do capital investido inicialmente, de uma forma mais rápida, uma vez que, como a taxa de produção é elevada, o custo unitário associado a cada componente torna-se mais atrativo.

Automação programável

A principal característica da automação programável é a facilidade e a versatilidade que o sistema possui de se adaptar e/ou de alterar a sequência de operações do processo no qual se encontra, para outro com configurações completamente distintas, tendo, assim, a capacidade de se acomodar a diferentes configurações de produtos. A configuração de sequências é comandada por um programa informático, que foi inicialmente desenvolvido para cumprir as ordens que lhe são impostas, permitindo deste modo ao equipamento adotar a configuração desejada (associada a cada tipo de produto). Os princípios fundamentais da automação programável são:

- Alto investimento no equipamento;

- Taxas de produção consideravelmente menores, quando comparada com a automação fixa;
- Flexibilidade elevada;
- Necessidade de um programa informático para poder produzir.

Como é possível verificar na Figura 19, a taxa de produção é reduzida, ao contrário da diversidade de produto. Este tipo de produção é normalmente associada à produção em lotes, sendo esta cumprida aquando do início do *setup*⁵. Com isto, o equipamento organiza-se de forma a que possa cumprir o programa que lhe é imposto. Fisicamente, o equipamento de produção é alterado ou adaptado com a introdução de ferramentas necessárias à produção. Com o uso da automação programável, é possível melhorar o tempo de produção. Máquinas de controlo numérico e robôs industriais são, entre muitos, alguns exemplos que se pode ter em consideração quando se fala de automação programável.

Automação flexível

Com recurso à automação flexível, é exequível a produção total ou parcial de vários tipos de produtos, reduzindo o tempo de perdas no *setup* do equipamento. Pode-se, então, considerar a automação flexível como sendo uma vertente mais dinâmica e avançada da automação programada. Relativamente à flexibilidade deste tipo de automação, as combinações e execuções de produtos podem ser executadas em simultâneo, ou seja, a produção de produtos, com diferenças pouco significativas, é executável. Sucintamente, este tipo de automação é representada pelas seguintes condicionantes:

- Sistemas de alto custo de aquisição;
- Capacidade de adaptação a diferentes tipos de produtos;
- Taxa de produção e variedade de produtos médias.

2.3 A automação ligada à produção de componentes para a indústria automóvel

Tanto a automação como a robótica influenciaram vários aspetos a nível industrial, desde o aperfeiçoamento, indicativo de aumento de qualidade dos produtos, à melhoria do ambiente de trabalho, ao ajuste da relação qualidade-preço, até à elevação da flexibilidade dos processos quando se pretende alterar um produto (Dengriz, et al., 2013).

⁵ *Setup* – pode significar configuração, instalação, organização, disposição ou regulação.

Quando comparado o trabalho desenvolvido pelo ser humano com o trabalho desenvolvido por um robô, a diferença ao nível do rigor é visível: o trabalho realizado pelos robôs é muitíssimo mais rigoroso e, quando as tarefas requerem alta precisão de medição e/ou posicionamento, elevada repetibilidade e inspeção rigorosa, estes tornam-se a escolha principal da indústria. Contudo, os robôs não fornecem apenas vantagens no que respeita ao aspeto visual: fornecem, também, elevados patamares de qualidade, como por exemplo, melhores cordões de soldadura, devido à maior precisão e rigor na distância entre pontos, no caso de soldadura por pontos. Mais ainda, a utilização de robôs provoca aumentos no aperfeiçoamento em qualquer tipo de indústria: soldadura, pintura, empacotamento e montagem de componentes (bara.org.uk).

De modo a obter um melhor desempenho, é importante que o ambiente de trabalho conduza tanto quanto possível ao desenvolvimento da qualidade. Com o passar do tempo, o corpo humano começa a fraquejar, sendo utilizado de forma incorreta, uma vez que este está suscetível à fadiga após um curto período de tempo, o que influencia diretamente todo o resto de tempo de trabalho. Assim sendo, a automação deverá ser aplicada sempre que possível, de modo a combater a fadiga humana e o risco de lesões nos operários. Deverá ser tomada em consideração a utilização da automação ou robótica em situações de trabalho pesado, repetitivo, em ambientes contaminados e com operações que exijam elevada concentração do operador.

A relação qualidade-preço, quando a utilização de robôs está presente, nem sempre é fácil de calcular. O custo mais elevado, normalmente, vem associado ao robô e às suas ferramentas. Todavia, relativamente ao trabalho realizado pelo ser humano, as despesas dependem dos salários e dos custos associados à segurança do operário, caso este esteja a efetuar trabalho em ambientes perigosos, como é o caso de oficinas de pintura, onde são necessários equipamentos para proceder ao controlo ambiental, de modo a que o operário possa respirar sem que a sua saúde seja afetada.

Um ser humano não aguentaria trabalhar 24 horas por dia sem descanso, para além de que colocaria a sua saúde em risco. Para combater este aspeto e rentabilizar a produtividade, o robô será uma ótima escolha, substituindo o ser humano. Contudo, isto nem sempre é possível, já que existem linhas de produção onde a interação entre os seres humanos e os robôs está presente, linhas essas que têm de parar sempre que existir essa necessidade por parte dos operadores.

Por fim, resta referir que o uso de robôs nas linhas de produção permite uma elevada flexibilidade e uma maior rapidez quando comparados à mão-de-obra humana. O tempo de vida de um determinado produto no mercado é cada vez menor, logo a introdução de novos produtos neste meio é cada vez mais constante, o que, por sua vez, exige mais linhas de

produção, com maior eficiência e capazes de se adaptarem a diferentes processos de fabrico. Em suma, a mesma linha de produto deve ter a capacidade de lidar com diferentes processos de produção ou montagem (bara.org.uk).

2.3.1 Princípios gerais ligados à automação na indústria automóvel

2.3.1.1 *Uma breve passagem pela história da automação*

Desde há muitos anos, a mão-de-obra humana tem vindo a ser substituída e cada vez mais se investe na mecanização de sistemas, a fim de substituir grande parte da intervenção humana nos processos de fabrico. Isto pode ser verificado a partir do momento em que a roda foi inventada para substituir a força humana, bem como o aproveitamento dos recursos que a Natureza oferece para fazer mover, como a força do vento ou das águas – contruindo moinhos (Figura 20) – e até mesmo a força de animais, como cavalos, utilizados para puxar arados para a agricultura, ou cães, para tracionar os trenós. Todos estes mecanismos e situações vieram em substituição da mão-de-obra humana, de modo a poupar o elevado esforço e energia despendidos na realização de trabalhos muito exigentes para o corpo humano.

Com a entrada no século XX, começaram a aparecer os primeiros sistemas totalmente automáticos. Os avanços tecnológicos que surgiram desde então devem-se à necessidade do aumento de produção, o que provocou um desenvolvimento ao nível automático, de modo a que as máquinas conseguissem produzir mais em menos tempo e com maior precisão comparativamente ao trabalho manual (comatreleco.com.br).

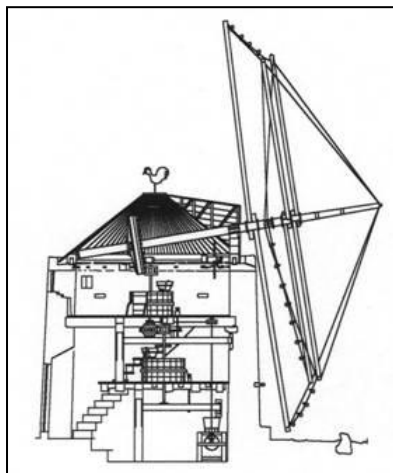


Figura 20 – Moinho de vento (arteaovento.com.pt)

Em meados de 1788, James Watt destacou-se pelos melhoramentos que introduziu no motor a vapor: este inventou o primeiro sistema de controlo com realimentação, que controlava a entrada de vapor nas máquinas (Figura 21). Em 1870, começou-se a introduzir a energia elétrica,

que proporcionou uma evolução nas indústrias química, metalomecânica e máquinas-ferramentas (Nof, 2009).



Figura 21 – Máquina a vapor de James Watt (fisicacomdaenyasabrina.blogspot.pt)

O método para controlar movimentos de máquinas-ferramentas com auxílio à informação contida em cartões perfurados foi desenvolvida em 1948 por John T. Parsons. Após alguns anos, este sistema tecnológico deu origem a uma fresadora protótipo de três eixos, sendo a posição destes efetuada através de servomecanismos. Com isto, começaram a aparecer várias empresas privadas a desenvolver projetos, nascendo, assim, o comando numérico. O MIT⁶ desenvolveu, para ajudar na entrada de comandos de movimentos de ferramentas nas máquinas, a linguagem de programação APT – *Automatically Programmed Tools* ou Ferramentas Programadas Automaticamente (www.automacaoindustrial.info).

Por fim, em 1954, apareceram os primeiros robôs da história (do *tcheco robota*, que significa "escravo"), desenvolvidos por George Devol, que, ao fim de alguns anos, fundou a fábrica de robôs *Unimation* (Figura 22). Estes equipamentos tinham como finalidade movimentar materiais perigosos. No seguimento da utilização deste equipamento, a *General Motors* instalou robôs nas suas linhas de produção para soldar carroçarias. Desde então, o processo evolutivo tem sido adaptado para outras indústrias, como a indústria química e a farmacêutica (comatreleco.com.br).

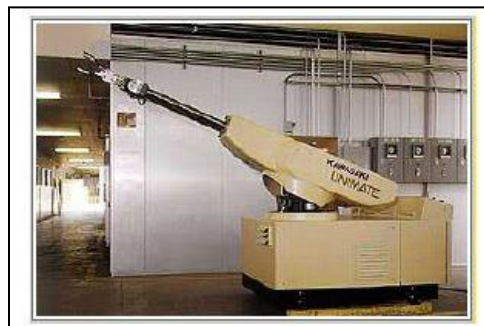


Figura 22 – O Unimate, o primeiro robô industrial (comatreleco.com.br)

⁶ MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

2.3.1.2 *Princípios da automação ligada à indústria automóvel*

Um dos setores que mais alterações sofreu, nos últimos anos, face à necessidade de qualificar a sua força de trabalho, foi o setor automóvel. Se nos anos 60, a particularidade principal seria um processo de trabalho de forma repetitiva, de montagem efetuadas em grandes séries, com sistemas automatizados dedicados ou fixos, na década seguinte observou-se uma introdução progressiva da automação flexível para conseguir oferecer resposta a uma elevada diversificação de procura e de segmentação de mercados (Moniz, 2006).

A indústria, para obter maior rentabilidade ao longo do tempo, investiu em meios para incrementar o nível de produção de uma forma mais eficiente, tentando sempre fazer o menor uso de recursos, por mais que estivessem disponíveis, e racionalizar os mesmos, sejam eles energéticos, materiais ou humanos.

A busca da melhoria contínua na indústria tem-se tornado um fator de destaque com o decorrer do tempo. A procura incessante de uma melhor eficácia de produção, capaz de rentabilizar ao máximo os recursos energéticos, humanos e materiais, tem sido um dos objetivos principais deste setor.

Cada vez mais fabricantes de componentes ou produtos para automóveis têm optado pela utilização de sistemas automatizados, deixando para trás o trabalho manual, de forma a rentabilizar os custos de produção (aumentar os ganhos e diminuir as despesas) e aumentar a produtividade com o menor tempo possível de fabricação, tentando sempre garantir a qualidade e os requisitos exigidos pelo consumidor. Aproveitando-se desta estratégia, os fabricantes continuam flexíveis e competitivos, independentemente da tendência do mercado. Contudo, a competitividade não está diretamente relacionada com a necessidade de automação, mas sim com o perigo que determinadas tarefas possam representar, colocando em risco a integridade física ou psicológica do operário (Silva, et al., 2013).

Dos setores que mais têm contribuído para o nível crescente de desenvolvimento de sistemas de automação, destaca-se o setor automóvel. Isto deve-se ao facto de esta indústria produzir elevadas quantidades e qualidade de componentes que constituem um veículo e variadíssimos modelos possíveis dentro da mesma marca, o que implica a necessidade de um acompanhamento, em paralelo, no desenvolvimento de sistemas, capazes de colaborar para o incremento de produtividade e flexibilidade (Araújo, 2016).

De modo a aumentar o nível de automatização, as empresas apostam nos seguintes fatores apresentados (Groover, 2000):

- Aumento de produtividade – quando um dado processo é automatizado, a taxa de produção do mesmo normalmente tende a aumentar. Isto significa que a produção

aumenta por unidade de tempo, quando comparada ao mesmo sistema mas sem que esteja automatizado;

- Redução de custos de produção – o investimento em automatização torna-se justificado a nível económico, pois este substitui a mão-de-obra humana. Quando a mão-de-obra é substituída por mecanismos automatizados, o custo de produção é reduzido consideravelmente;
- Aumento da qualidade do produto – o aumento de produtividade e a redução de custos de produção não são os únicos objetivos da automatização de sistemas, pois esta aumenta a qualidade imposta, a repetibilidade e a conformidade;
- Redução de prazos de entrega – a automação ajuda a reduzir os prazos de entrega, eliminando quase por completo o tempo desperdiçado entre o pedido do cliente e a expedição do produto. Este aspeto é essencial quando a competitividade entre empresas impera;
- Execução de tarefas que não podem ser executadas manualmente – é relevante quando a precisão é um requisito, quando as dimensões do componente são de tal ordem pequenas que este se torna difícil de manusear ou quando a sua geometria é deveras complexa que se torna impossível manipular, isto é, em todas as tarefas que a mão-de-obra não é capaz de produzir sem recurso a automação;
- Custos de não automatização – a implementação da automação melhora alguns sistemas da empresa de uma forma indireta. Por exemplo, quando a qualidade do produto é aumentada, o nível de vendas tende a aumentar e, consequentemente, a imagem que a empresa passa para os clientes melhora;
- Redução ou eliminação de operações manuais – eliminar tarefas repetidas, monótonas e cansativas é um dos objetivos das empresas quando implementam sistemas automatizados. Este aspeto serve, também, para melhorar as condições de trabalho.

Entre os fatores enumerados anteriormente, existe um elevado conjunto de fatores que podem ser tomados em consideração. A automação de um sistema é, normalmente, associada a uma consequente substituição da mão-de-obra do operador por esses mecanismos automatizados. Esta associação está muitas vezes errada, uma vez que a substituição do operador não está implícita. Todavia, a aplicação da automação possibilita, para além da redução de custos de produção, a recolocação do operário que foi "substituído" pela implementação de mecanismos automatizados. Este operário deixa de executar um serviço monótono, repetitivo e cansativo, para monitorizar e controlar a linha de produção e resolver erros de produção, continuando com

o seu trabalho, mas com melhores condições e podendo, deste modo, focar-se em outras áreas de crescimento.

2.3.2 Automação: Soluções mais comuns na indústria automóvel

Como já foi referido, as empresas estão cada vez mais sujeitas a uma grande pressão relativamente à qualidade dos produtos e ao encurtamento dos prazos de entrega, o que as leva a apoiarem-se em sistemas automatizados para fazer frente a essas exigências. Nos dias que correm, a maior parte das indústrias utiliza maioritariamente a automação para poder controlar grande parte dos equipamentos que se conhecem.

Os exemplos onde melhor se verifica este tipo de aplicação (Figura 23 e 24) são as linhas de montagem e empacotamento, que necessitam de fazer movimentar a matéria-prima⁷ ou os produtos entre os vários setores. A necessidade de lidar mais facilmente com esta deslocação constante de produtos levou à criação de sistemas onde o transporte de produtos fosse simplificado, como por exemplo o AGV (*Automatic Guided Vehicle*), que permite a movimentação de produtos entre diferentes zonas da área de fabrico, sem qualquer tipo de intervenção humana (Figura 25), como por exemplo esteiras de roletes, telas, correntes (Costa, 2014).

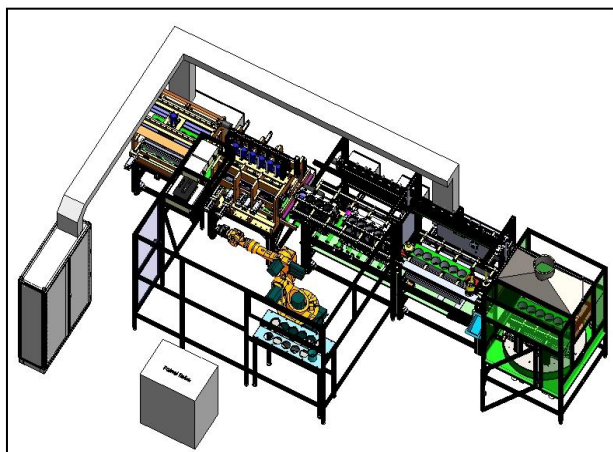


Figura 23 – Linha de montagem de camisa EURO V (awautomacao.com.br).

⁷ Neste contexto, matéria-prima significa todos os produtos que alimentam as linhas de produção (anilhas, parafusos, tampas, molas, etc.).



Figura 24 – Linha de empacotamento (tecnalimentar.pt).



Figura 25 – Forked AGV (jbtcc-agv.com).

Tendo em conta que alguns produtos, devido à sua geometria e dimensões, apresentam dificuldades no processamento, este problema pode ser ultrapassado ao recorrer à automação, uma vez que esta permite a criação de equipamentos aptos para cumprir todos os procedimentos necessários de um forma controlada para fazer a manipulação de peças, para, posteriormente e de uma forma organizada, proceder à montagem das mesmas. Nas Figuras 26 e 27, são apresentados dois exemplos de equipamentos concebidos para manipular e/ou movimentar as peças (Costa, 2014).

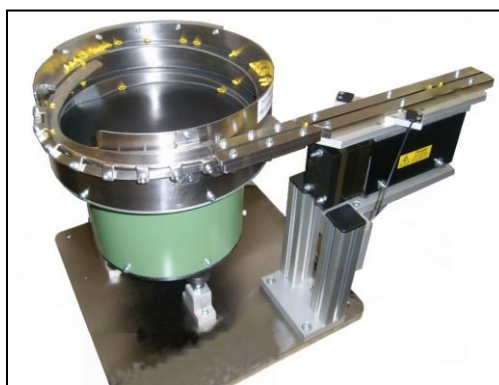


Figura 26 – Alimentador vibratório (db-automation.co.uk).

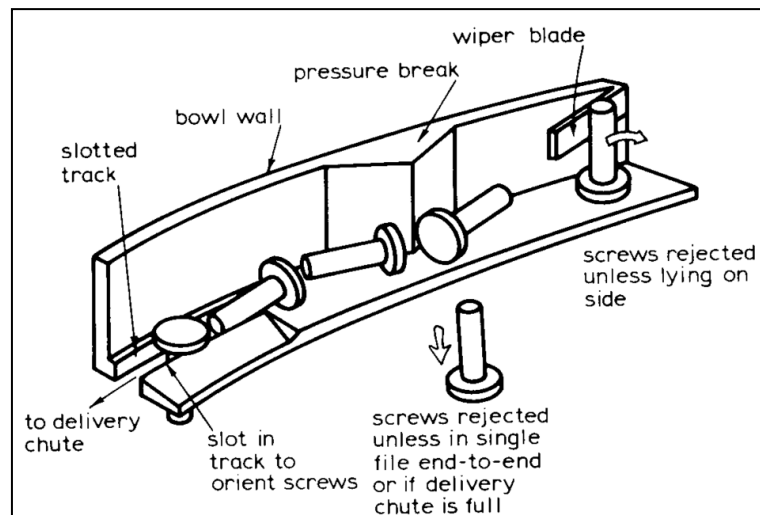


Figura 27 – Exemplo de seleção numa mesa vibratória (ielm.ust.hk).

Os equipamentos de manipulação de objetos ou peças, também conhecidos como *pick-and-place* (Figura 28), têm a capacidade de identificar produtos através de sensores óticos, de os processar da maneira desejada, cumprindo o *setup* previamente estudado e concebido e, por fim, de organizar os objetos ou peças em posições já estabelecidas nesse mesmo *setup*. Quando o produto se encontra finalizado e devidamente empacotado, resta colocar as informações do mesmo, bem como a identificação das datas de produção, que, em muitos casos, são colocadas em etiquetas coladas nas embalagens. Contudo, como a cadência de peças é bastante elevada, as indústrias utilizam estações de etiquetagem (Figura 29) para simplificar o processo (Costa, 2014).



Figura 28 – *Pick-and-Place* (afasystemsinc.com).

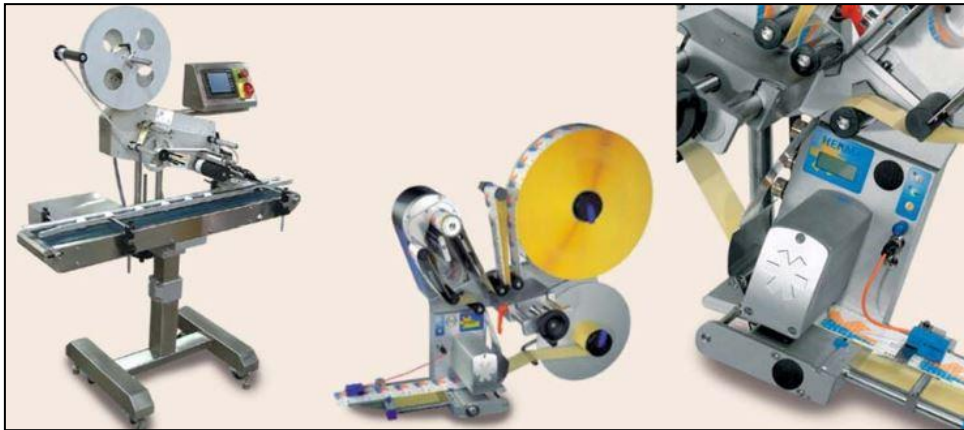


Figura 29 – Diferentes estações de etiquetagem (Nof, 2009).


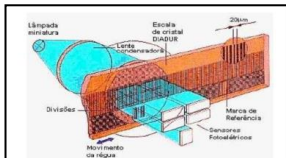

2.3.2.1 Soluções para acionamentos

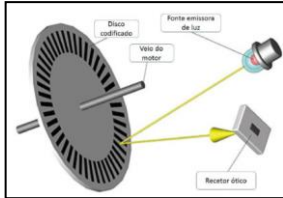
Para processar a informação em processos automáticos, como os equipamentos industriais, utilizam-se sinais analógicos ou digitais, que permitem, ao controlador, tomar decisões, tais como ligar ou desligar um motor, acender uma lâmpada e ligar ou desligar o sistema de aquecimento. O instrumento que inicia toda a sequência de etapas – começando por captar o que ocorre no sistema num dado momento – e fornece a informação para o decorrer das ações seguintes, é designado sensor. O componente que realiza a função estipulada pelo controlador chama-se atuador.

O sensor transforma um sinal de qualquer espécie, de modo a conseguir emití-lo para o controlador; esta conversão feita pelo sensor permite ao controlador analisar o valor da grandeza medida. Por outras palavras, o sensor tem a finalidade de "sentir" uma grandeza física (como a proximidade ou temperatura) e convertê-la num sinal elétrico para que possa ser lida por um componente eletrónico (Alves, 2005; Wilson, 2005).

Existe um enorme leque de sensores que podem ser utilizados em equipamentos industriais. Contudo, a título exemplificativo, serão apresentados alguns tipos relevantes (Tabela 1).

Tabela 1 – Exemplos de alguns tipos de sensor.

Tipo de sensor	Imagem	Descrição
Sensor de proximidade		<p>Sensor Indutivo (Alves, 2005; Wilson, 2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baseiam-se na variação da indutância; • Necessitam de peças de metais ferrosos para funcionar.
		<p>Sensores capacitivos (Alves, 2005; Wilson, 2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baseiam-se na variação da capacitância; • Possibilitam a deteção de qualquer tipo de material (metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro, água, madeira, etc.).
Sensores lineares óticos		<p>O seu funcionamento consiste na colocação de emissores e recetores de luz na parte móvel de uma régua graduada. Esta régua permite a passagem de alguns feixes de luz emitidos. Estes serão detetados pelos recetores e indicarão a posição da parte móvel em relação à fixa (Alves, 2005).</p>
Sensores Magnéticos		<p>Estes sensores realizam um acionamento eletrónico mediante a presença de um campo magnético externo, próximo e dentro da zona sensível do sensor, proveniente, na maioria dos casos, de um íman permanente. Estes sensores podem ser sensíveis tanto aos dois polos do íman, como apenas a um só (Alves, 2005; Wilson, 2005).</p>

Tipo de sensor	Imagem	Descrição
Sensores rotativos óticos (encoder)		<p>O funcionamento destes sensores é semelhante aos lineares, com a diferença de não existir régua, mas sim um disco com marcas. Possui as mesmas características do sensor linear – vida longa e alta precisão – e fornece medidas absolutas ou incrementais (Wilson, 2005).</p> <p>Este tipo de <i>encoder</i> fornece informações sobre o movimento realizado e a direção de rotação do motor. Estes <i>encoders</i> geram um determinado número de impulsos por rotação e a cada impulso equivale a medida da distância movida – angular ou linear (Wilson, 2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Através dos impulsos e do ângulo, obtém-se a posição; • O sentido de rotação é determinado fornecendo um segundo sinal desfasado aproximadamente 90º, avançado ou atrasado em função da direção; • O disco montado é dividido em segmentos separados que são, alternadamente, opacos ou transparentes.
Enconders Incrementais		
Enconders Absolutos		<p>Os <i>enconders</i> absolutos fornecem informações mais rigorosas do que os <i>encoders</i> incrementais, pois possuem a capacidade de determinar a posição física de um determinado elemento assim que este é ativado, sem a necessidade de fixar a posição inicial. Isto deve-se ao facto do <i>encoder</i> transmitir, para o controlador, um sinal diferente para cada posição (Alves, 2005).</p>

2.3.2.2 *Soluções para posicionamentos*




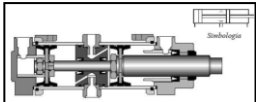
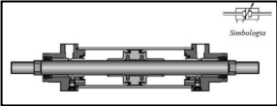
Genericamente, os sistemas de posicionamento são dispositivos, designados por atuadores, que convertem sinais emitidos por controladores para um parâmetro físico, ou seja, o sinal emitido impõe um movimento, que pode ser linear, vibratório, giratório, entre outros. Estes movimentos são, normalmente, mecânicos, pois as posições inicial e final podem variar, bem como a sua velocidade. Resumidamente, o atuador transforma um tipo de sinal físico (por exemplo corrente elétrica) noutro sinal físico completamente diferente (por exemplo rotação de um motor elétrico).

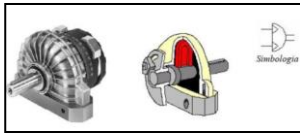
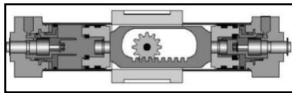


Conforme Groover (2000), existem três categorias diferentes de atuadores, que se podem classificar da seguinte maneira:

- Atuadores Elétricos – são os mais comuns, controlados através de motores de corrente contínua ou alternada, como por exemplo motores de passo e solenoides;
- Atuadores Hidráulicos – necessitam de algum tipo de fluido para funcionar. É comum ver este tipo de atuadores em máquinas que recorrem a movimentos e solicitações onde a força utilizada é considerável;
- Atuadores Pneumáticos – o seu funcionamento consiste na utilização de ar comprimido. Este tipo de atuadores é utilizado em aplicações cujas forças são consideravelmente menores quando comparadas às forças que um atuador hidráulico pode realizar. Por norma, o tempo de ciclo e a velocidade de movimento também são notavelmente menores.

Na Tabela 2, são apresentados os tipos de atuadores que mais se adequam à realização deste projeto, dando, assim, mais importância aos atuadores pneumáticos e elétricos, tendo em conta o tempo de ciclo "apertado", a velocidade de movimento elevada e as suas dimensões.

Tabela 2 – Exemplos de alguns tipos de atuador.

Tipo de atuador	Imagem	Descrição
Cilindro de simples efeito		Este tipo de cilindro é acionado por um lado, ou seja, realiza trabalho num só sentido. O retorno é realizado com auxílio a uma mola ou uma força externa (Silva, et al., 2010).
Cilindro membrana		Os cilindros membrana podem também ser referidos nos cilindros apresentados anteriormente. Este tipo de atuador é composto por uma membrana de borracha, plástico ou metal para movimentar o pistão (Silva, et al., 2010).
Cilindro de duplo efeito		Como o próprio nome indica, o movimento do êmbolo é de duplo efeito, ou seja, o trabalho pode ser realizado nos dois sentidos. As forças exercidas no avanço e no retorno são um pouco diferentes. Isto deve-se ao facto da secção ocupada pela haste do êmbolo ser maior e a força de avanço ser superior à força de retorno (Silva, et al., 2010).
Cilindro de dupla ação em tandem		Os cilindros em <i>tandem</i> são constituídos por dois cilindros axiais em um só. Dado este facto, o trabalho realizado por este cilindro é, aproximadamente, o dobro do trabalho realizado pelo cilindro de duplo efeito. Aplica-se em circuitos em que é necessária força elevada (Silva, et al., 2010).
Cilindro de dupla haste		Estes cilindros têm a particularidade de possuírem duas hastes, uma de cada lado do corpo do cilindro, e desenvolvem forças iguais nos dois sentidos. Para afinar o curso do cilindro, é normalmente aplicado um batente num dos lados da haste (Silva, et al., 2010).

Tipo de atuador	Imagem	Descrição
Cilindro rotativo de alhetas		Os cilindros rotativos de alhetas possuem uma alheta giratória, que permite movimentos angulares – raramente os ângulos de rotação ultrapassam os 270° (Silva, et al., 2010).
Cilindro rotativo de báscula		Estes cilindros convertem o movimento linear em movimento de rotação através de uma engrenagem. A gama de rotação varia entre 45°, 90°, 180°, 270° e 360°, podendo ou não possuir regulação de posição final (Silva, et al., 2010).
Cilindro sem haste		Nestes cilindros, a força do pistão é transferida por intermédio de um carrinho guiado através de uma fita circulante. Para inverter o movimento, basta introduzir um sinal pneumático na câmara oposta (Silva, et al., 2010).
Atuador rotativo		Os atuadores rotativos transformam energia pneumática em movimentos rotativos. Podem ser designados também como motores pneumáticos, podendo ter um ou dois sentidos de rotação. Este tipo de motor é bastante utilizado, desde o equipamento mais corrente na indústria, até ao equipamento de elevada precisão (Silva, et al., 2010).
Músculo		O músculo funciona através da contração da membrana e consiste num tubo flexível, em que o ar flui no interior, o que origina uma força elástica na direção axial, que contrai o músculo. No estado estendido, este tipo de atuador gera até dez vezes mais força que um cilindro pneumático convencional (Silva, et al., 2010).

Tipo de atuador	Imagem	Descrição
Cilindro rotacional/linear		Este atuador é bastante utilizado no posicionamento de peças. A sua haste é projetada para aguentar forças laterais elevadas (Silva, et al., 2010).
Garra (Gripper)		As garras são, preferencialmente, utilizadas para a manipulação de objetos, ou seja, movimentos de apanhar, movimentar, libertar e rodar.
Ventosa		As ventosas são utilizadas para a fixação e a movimentação através de vácuo. Contudo, para o bom funcionamento das ventosas, os objetos a transportar necessitam de ter faces planas ou curvas ligeiras. Podem possuir diferentes formas e tamanhos, adequando-se a diferentes tipos de aplicações (Silva, et al., 2010).
Motor de corrente contínua		<p>Estes motores são, normalmente, compactos e mantêm o seu momento torsor constante para grandes variações de velocidade. Contudo, necessitam de sensores de posição e velocidade que controlem o seu posicionamento. Estes motores obtêm máxima eficiência quando trabalham em velocidades elevadas, daí ser comum o uso de redutores. Com isto, apesar de diminuir a velocidade, o momento torsor aumenta.</p> <p>Atualmente, os fabricantes de robôs optam por utilizar motores de corrente contínua sem escovas (<i>brushless</i>), reduzindo, assim, a manutenção e otimizando, deste modo, a dissipação térmica entre o rotor e o estator (Inácio, 2009).</p>

Tipo de atuador	Imagem	Descrição
Motor passo a passo		O motor passo a passo é idêntico a um motor de corrente contínua; diferenciam-se, apenas, pelo facto de o primeiro possuir um controlador sobre o deslocamento do eixo, em que um deslocamento angular equivale a um passo. Este motor pode funcionar em controlo de malha aberta, em posição e velocidade; é facilmente conectado à unidade de controlo de baixo custo. Todavia, com o aumento de velocidade, o momento torsor tende a diminuir, mas, trabalhando a baixas velocidades, pode produzir vibrações (Inácio, 2009).
Motor de corrente alternada		Apesar de serem bastante utilizados na indústria, estes motores apenas foram introduzidos recentemente para fins de projetos de manipulação. Estes motores não necessitam de sistemas de engrenagens ou outro tipo de mecanismos de conversão de movimento rotativo em movimento de translação (Inácio, 2009).

2.3.2.3 Soluções para controlos

De modo a interligar os resultados recebidos pela leitura dos sensores com os atuadores, é necessária a utilização de sistemas de controlo, podendo, deste modo, assumir que estes são responsáveis pelo processamento de toda a informação que todos os sistemas podem fornecer. Através da leitura efetuada pelo sensor, o sistema de controlo recebe informação sobre o estado em que se encontra o processo. Posto isto, através de cálculos internos, a informação processada é enviada para os atuadores, de modo a que estes cumpram as ordens que recebem dos sistemas de controlo até findar todas as ações que lhes foram impostas, funcionando como um sistema fechado, como se pode ver na Figura 30.

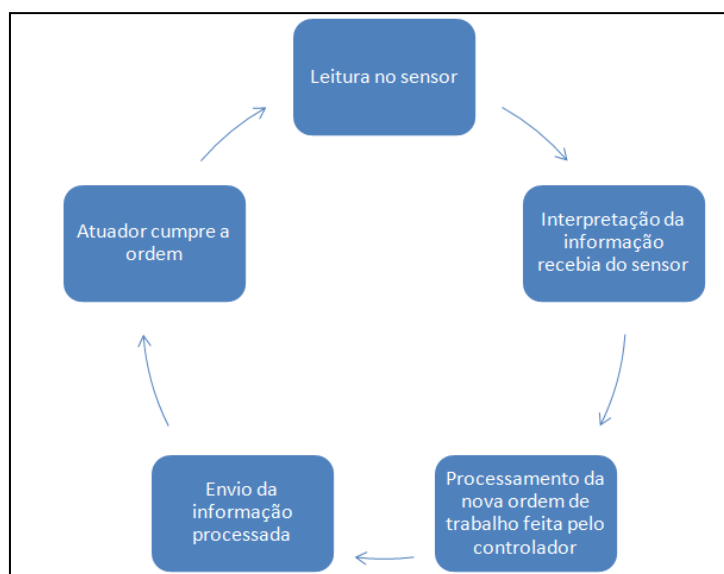


Figura 30 – Processo de informação (desde a leitura até à nova ordem).

Equipamentos como microcontroladores, PLC (*Programmable Logic Controller*) e microprocessadores são exemplos de alguns sistemas de controlo (Figura 31). Estes sistemas são equipados com portas de entrada e saída, de modo a realizar a comunicação entre todos os componentes integrados nos equipamentos, como por exemplo sensores e atuadores (Borges, 2008; tecnologiasindustriais.wordpress.com).

As entradas e saídas que equipam um sistema de controlo servem, também, para comunicar com outros dispositivos, de modo a passar a informação obtida pelos sensores e as ordens que são impostas, sendo desta forma registado todo o processo a que o equipamento é sujeito.



Figura 31 – Exemplo de controlador fim de curso (festo.com).

Em suma, os PLC são constituídos por um CPU (*Central Processing Unit*), por memórias e cartas de entrada e saída. Estes dispositivos trabalham com sinais analógicos ou digitais, que possibilitam a troca de informação entre instalações e também a atuação sobre elas (Figura 32). Apesar de a sua utilização ser de elevada importância, estes processadores possuem dimensões bastante reduzidas. São equipamentos multifunções e, quando necessários para utilizações mais complexas, possuem funções especiais à distância, isto é, sem necessidade de conexão por cabo (Borges, 2008; Alves, 2005).

Para que estes equipamentos cumpram as funções para as quais foram criados, é necessária a programação dos mesmos, com auxílio a um *software* de controlo. Todas as funções são realizadas a partir da programação, o que possibilita a versatilidade do sistema, podendo este adaptar-se a qualquer situação, ser melhorado sempre que seja necessário e otimizado no futuro (Alves, 2005).

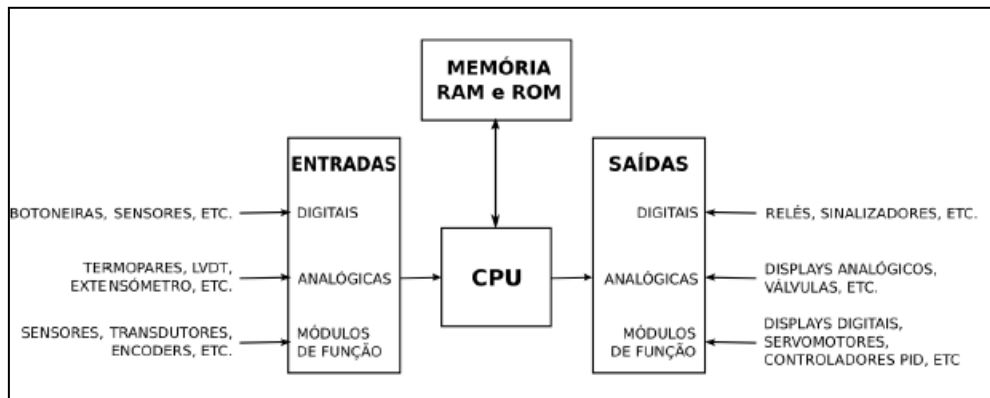


Figura 32 – Diagrama de blocos de um autômato (tecnologiasindustriais.wordpress.com).

2.3.2.4 Soluções para a segurança dos operadores

A maioria dos acidentes no trabalho efetuado com máquinas poderia ser evitado se os processos produtivos cumprissem com as medidas de segurança impostas, de modo a controlar os riscos provenientes do manuseamento desses equipamentos. As máquinas são, por defeito, consideradas perigosas, pois produzem uma elevada quantidade de energia e existe um constante movimento de objetos. Se os elementos móveis, como por exemplo correias de transmissão, polias, correntes e engrenagens, não forem protegidos, o grau de perigo aumenta, pois os operadores estarão demasiadamente expostos.

Com o passar dos anos, graças ao desenvolvimento tecnológico, as máquinas atingiram novos níveis de eficiência, aparecendo, paralelamente, novos riscos inerentes à sua utilização.

De modo a evitar o número de acidentes, os sistemas de proteção passaram a fazer parte de todas as máquinas. Dado isto, devido ao aumento de velocidade de operações aliado a uma maior complexidade de operações sincronizadas, foi necessário encontrar soluções de compromisso para que o manuseamento de máquinas fosse efetuado em segurança.

A ausência de acidentes não justifica a não perigosidade das máquinas, pois, muitas vezes, os sistemas de segurança que estes equipamentos dispõem não são suficientes para evitar o contacto com o operador.

2.3.2.4.1 Níveis de risco nas máquinas

Difícilmente é possível eliminar o risco de acidente. Por isso, o objetivo dos sistemas de segurança passa pelo controlo dentro de limites aceitáveis dos mesmos.

Existem quatro sistemas para controlar e evitar o risco de acidente:

- Limitar/ eliminar o risco;
- Envolver o risco;
- Afastar o homem;
- Proteger o homem.

Estes sistemas podem ser classificados como:

- Prevenção Intrínseca – Direcionada sobre a forma, disposição, modo de montagem e elementos construtivos funcionais, sem acrescentar elementos, a fim de garantir a segurança;
- Técnicas de Proteção – Aplicação de resguardos e dispositivos de proteção em situações em que o aspeto anterior não é suficiente para garantir a segurança pretendida;
- Técnicas de Formação e Informação – Apresentam as circunstâncias em que é possível utilizar as máquinas sem perigo.

O empregador deverá ter em conta as seguintes medidas essenciais:

- Aquisição de máquinas seguras, que cumpram a Diretiva Máquinas e que possuam a marca CE (Figura 33);
- Instalação das máquinas, seguindo as instruções do fabricante;
- Providenciar formação ao(s) operador(es) da máquina.



Figura 33 – Marcação CE (vlm.pt).

2.3.2.4.2 Avaliação dos Riscos

Sempre que é identificado um perigo, é necessário avaliar o risco associado (Tabelas 3 e 4). Esta avaliação fornece informação para hierarquizar os riscos, permitindo assim adequar o seu tratamento. O método de avaliação utilizada baseia-se no método australiano *Workplace – Health and Safety*.

Tabela 3 – Probabilidade de ocorrência de riscos (adaptado de opac.iefp.pt).

Probabilidade	Probabilidade de Ocorrência
Muito provável	Frequentemente
Provável	Ocasionalmente
Pouco provável	Raramente
Nada provável	Provavelmente não acontecerá

Tabela 4 – Gravidade dos riscos vs. Consequências (adaptado de opac.iefp.pt).

Grau de Gravidade	Consequências
Elevado	Morte, desastre, incapacidade permanente
Médio	Ferimentos graves, incapacidade temporária
Menor	Necessidade de primeiros socorros

Resta, por fim, definir os níveis de risco para determinar quando se deve aplicar elevados níveis de exigências e fiabilidade de segurança nos sistemas de proteção:

- Risco Normal – quando o método de trabalho não implica acesso a pontos ou zonas de perigo. A falha humana e a falha da máquina teriam de ocorrer em simultâneo para que acontecesse um acidente;
- Risco Alto – quando a zona de trabalho carece de especial atenção para cumprir o trabalho, pois a proximidade do operador a zonas de perigo da máquina é permanente;

- Risco Muito Alto – quando uma mera falha do operário produz um acidente com absoluta certeza.

2.3.2.4.3 Perigos derivados das máquinas

O facto de uma máquina que não possui os meios de proteção necessários não registar acidentes de trabalho durante o seu funcionamento não significa que esta não seja considerada perigosa. Apesar da formação, supervisão e coordenação desempenharem um importante papel para prevenir acidentes, estes nunca substituirão as medidas de proteção. No Anexo I, encontra-se uma tabela-resumo com todos os riscos associados ao ambiente fabril.

Os operadores podem sofrer danos provocados pelas máquinas devido a:

- Objetos projetados;
- Partes de máquinas que se soltam e, conseqüentemente, são projetadas;
- Contacto com zonas de perigo (por exemplo, elementos das máquinas em rotação);
- Contacto com peças quentes.

É frequente considerar-se que acidentes ocorrem apenas devido a riscos mecânicos. Contudo, não se deve descurar outros potenciais riscos.

Regularmente, os acidentes manifestam-se nas seguintes situações:

- Durante o funcionamento normal da máquina, por falta de proteção ou por violação dos sistemas de segurança existentes;
- Durante a fase de ajuste, afinação, manutenção, reparação ou montagem;
- Em situações de perturbações transitórias.

Riscos Mecânicos

Os acidentes associados a riscos mecânicos provêm de diferentes movimentos ou da combinação dos mesmos, como por exemplo movimentos de rotação, translação e alternativos. Dependendo dos movimentos que a máquina efetue, estes podem causar danos por aprisionamento ou golpes, arrastamento do operário ou projeção de peças soltas.

Todas as partes perigosas de uma máquina podem ser classificadas em diferentes grupos:

- Grupo 1 – Movimento de rotação

Abrange acoplamentos, hastes, brocas, parafusos e barras. O foco do perigo direciona-se sobre as chavetas, pernos ou parafusos, que sobressaem dos eixos ou das suas funções, podendo causar acidentes graves (Figura 34).

A causa mais usual, neste caso, reside na captura da manga da roupa do operador pela broca. Este risco pode ser reduzido pela utilização de proteções para os braços. O mesmo pode acontecer com pessoas que possuam cabelo comprido: para proteção, é conveniente o uso de redes para o cabelo.

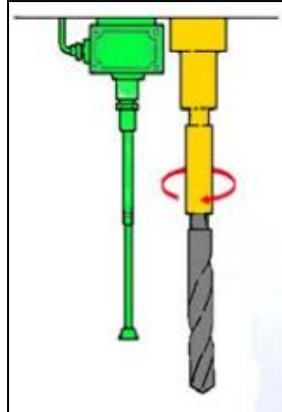


Figura 34 – Broca (opac.iefp.pt).

- Grupo 2 – Ressaltos e aberturas

Inclui as partes rotativas descontínuas, tais como ventiladores, engrenagens, roldanas radiadas, misturadoras, etc. (Figura 35). O perigo destes elementos deve-se ao facto de acontecerem ressaltos e aberturas e, caso isto aconteça, podem provocar lesões graves. Assim sendo, a utilização de vestuário adequado e evitar o uso de luvas é aconselhável.

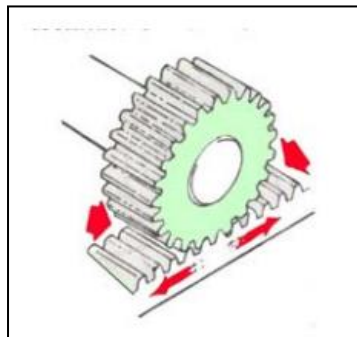


Figura 35 – Engrenagem (opac.iefp.pt).

- Grupo 3 – Ferramentas de corte

Este campo abrange uma ampla gama de ferramentas, como esmeril, serras circulares, fresas ou fresadoras, plainas, tornos, entre outros. Ao manusear este tipo de máquinas, convém utilizar óculos de proteção e tampões para os ouvidos, pois as partículas podem saltar e ferir os olhos e o barulho pode causar danos na audição.

- Grupo 4 – Captura por prisão

Este caso aparece quando dois cilindros giram em sentido contrário, por exemplo calandras para laminar perfis, transmitir formas arredondadas a chapas de metal, entre outros (Figura 36).

O principal risco associado é o aprisionamento entre ambos os cilindros. O melhor método para prevenir estes acidentes consiste em colocar uma proteção completa, de forma a evitar a aproximação a estas zonas de elevado risco.

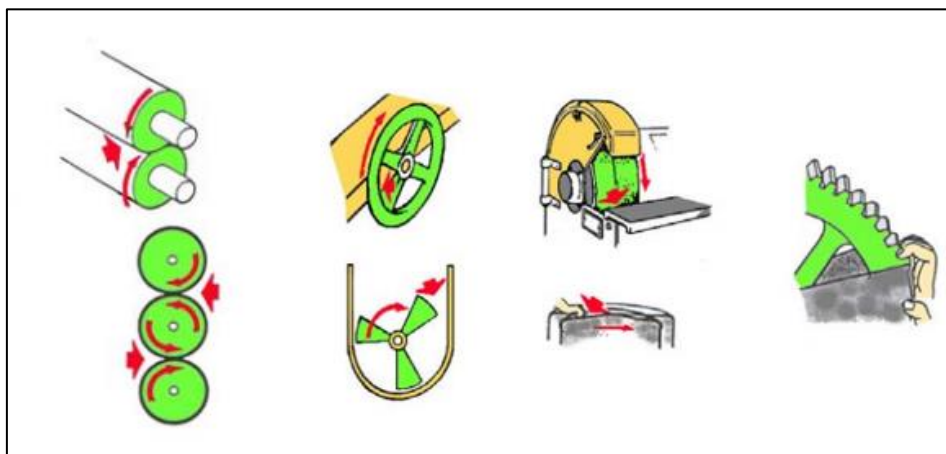


Figura 36 – Exemplo de captura por prisão (opac.iefp.pt).

- Grupo 5 – Movimentos alternativos e de translação

Nesta situação, o perigo encontra-se quando uma peça se desloca sobre guia e se aproxima da outra parte fixa ou móvel. Este grupo inclui ferramentas utilizadas nas prensas mecânicas, hidráulicas e pneumáticas, máquinas de estampar, partículas abrasivas de uma lixadeira ou dentes de uma serra (Figuras 37 e 38).

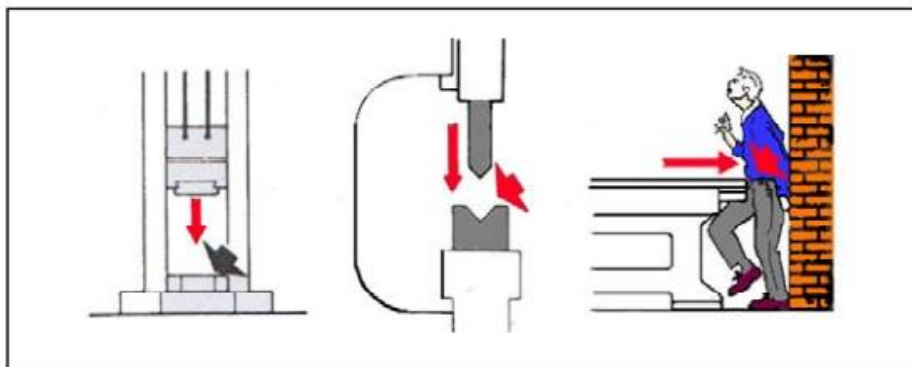


Figura 37 – Movimentos alternativos (opac.iefp.pt).

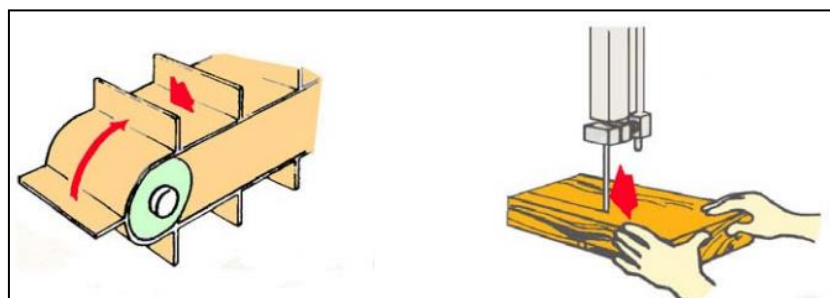

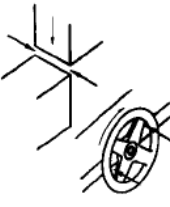

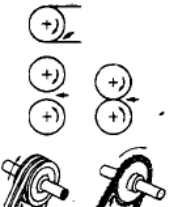

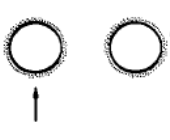
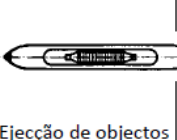

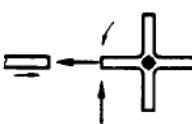
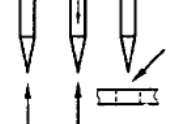

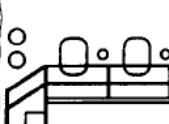


Figura 38 – Movimentos de translação simples (opac.iefp.pt).

Na Tabela 5 é apresentado um resumo dos diferentes riscos mecânicos, que podem acontecer ao manusear máquinas industriais:

Tabela 5 – Resumo de riscos mecânicos (retirado de Costa, 2014).

			
Risco de esmagamento	Risco de corte por cisalhamento	Risco de golpe ou decepamento	Risco de agarramento, de enrolamento
			
Perda de estabilidade	Risco de abrasão ou de fricção	Ejecção de objectos	Risco de arrastamento ou de aprisionamento
			
Risco de choque ou impacto	Risco de perfuração ou de picadela	Risco de ejeção de fluido a alta pressão	Escorregamento/ queda

- Outros riscos

Para além dos riscos mecânicos, as máquinas podem apresentar outro tipo de riscos. É importante referir que é necessário adotar medidas para prevenir os mesmos. Entre as classes de risco mais frequentes de origem não mecânica, destacam-se:

- Risco Elétrico

Quando se ouve dizer que um operador levou um choque elétrico, significa que houve uma passagem da corrente elétrica pelo corpo do operador. O contacto com a corrente elétrica pode ser direto ou indireto, representando um risco para o operador e para a máquina. Este tipo de acidentes pode ser classificado com um grau de gravidade elevado, pois pode causar a morte ou ferimentos graves, ou com um grau menor, quando causa alguns danos superficiais ou apenas um pequeno choque.

É considerado contacto direto quando existe interação entre a pessoa e uma parte do equipamento, parte que se encontra sob tensão. O contacto indireto acontece quando uma parte do equipamento tem algum defeito, tal como defeitos no isolamento (Figura 39).



Figura 39 – Risco elétrico por contacto direto e indireto (tecnicosaudeambiental.blogspot.pt).

Todas as zonas onde o perigo deste género pode ocorrer devem estar sinalizadas com uma placa ou símbolo (Figura 40), advertindo as pessoas que se encontram nessas áreas dos perigos a que estão sujeitas.

A fim de eliminar o risco deste género, as máquinas devem ser construídas com base na norma IEC 60204-1, de onde se destacam os seguintes aspetos (Costa, 2014):

- Proteção das pessoas contra o contacto direto e indireto;
- Ligação das máquinas ao circuito de proteção;
- Incorporação de dispositivos de proteção contra a sobreintensidade para o circuito de comando de potência;
- Componentes elétricos certificados e selecionados de acordo com as especificações do fabricante;
- Identificação de normas técnicas específicas para determinados riscos.

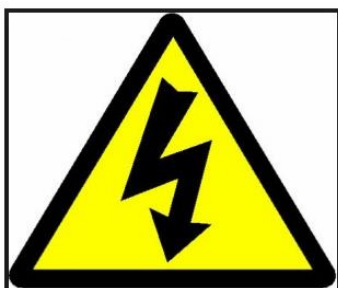


Figura 40 – Sinal de perigo de eletrocussão (tecnicosaudeambiental.blogspot.pt).

- Risco térmico

O risco térmico mais usual é o contacto com objetos ou materiais a uma temperatura extrema, por chamas ou explosões e pela radiação de fonte de calor, que podem causar queimaduras (Costa, 2014).

Quando o operador opera nestas zonas ou manuseia objetos com elevada temperatura ou equipamentos que são fontes de calor, este deve usar equipamento de proteção.

- Riscos provocados pelos ruídos

Quando o ser humano contacta com um som baixo durante muito tempo, pode tornar-se incomodativo. Quando o som é elevado, este pode ser prejudicial à saúde (Figura 41). Maioritariamente, as máquinas provocam um ruído aceitável que deve estar dentro das capacidades do ser humano.

Sempre que uma máquina provoque um som que ultrapasse os 80 dB, deverá ser afixado algum tipo de indicação, de modo a informar os operários para que estes tomem as devidas medidas de segurança.

De notar que se o som ultrapassar os limites que o ser humano aceita, pode causar danos, tais como perda definitiva da audição, zumbidos, *stress*, perturbações do equilíbrio, etc. (Costa, 2014).



Figura 41 – Escala de níveis de ruído (adp8asom.no.sapo.pt).

- Riscos provocados pelas vibrações

Ao manusear uma máquina, podem ser transmitidas vibrações ao operador, que podem ser mais ou menos intensas. Contudo, durante um longo período de tempo, essas vibrações – mesmo que pouco intensas – podem afetar o operador, provocando perturbações graves (Figura 42), desde perturbações musculares até perturbações neurológicas (Costa, 2014).



Figura 42 – Vibrações e danos causados pelas mesmas (pt.slideshare.net).

- Riscos provocados por radiações

- Radiação ionizante – contém energia suficiente para ionizar os átomos e moléculas com os quais interagem (Figura 43). Alguns exemplos de fontes deste tipo de radiação são os raios X, raios gama, raios alfa, raios beta, neutrões e prótons.

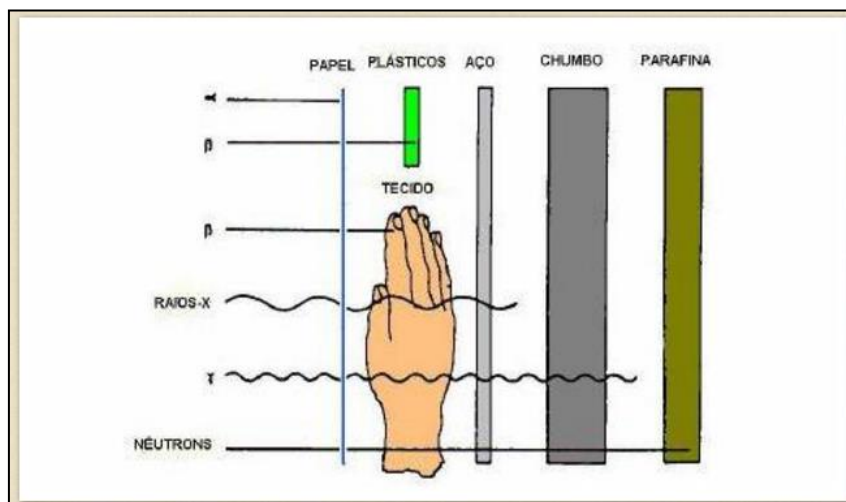


Figura 43 – Radiação ionizante (elixirdasabedoria.blogspot.pt).

- Radiação não ionizante – podem ser encontradas na luz visível, infravermelhos, ultravioletas, micro-ondas, corrente elétrica (Figura 44).



Figura 44 – Radiações não ionizantes (pt.slideshare.net).

- Riscos provocados por materiais e substâncias

Os materiais ou substâncias utilizados na fabricação de máquinas ou durante o seu trabalho podem provocar danos aos operários, caso estes entrem em contacto com as mesmas (Figura 45).

Os riscos referidos anteriormente resultam não só do contacto com os materiais ou substâncias, mas também da inalação de fumos, gases e poeiras, pois alguns materiais possuem propriedades de cariz tóxico, nocivo, corrosivo e/ou irritante. Caso a matéria seja inflamável, é necessário ter em atenção fontes de ignição próximas, uma vez que podem originar incêndios ou explosões. Por fim, resta referir que alguns destes materiais podem contaminar a Natureza, como rios e florestas, ou seja, provocam riscos biológicos e microbiológicos.

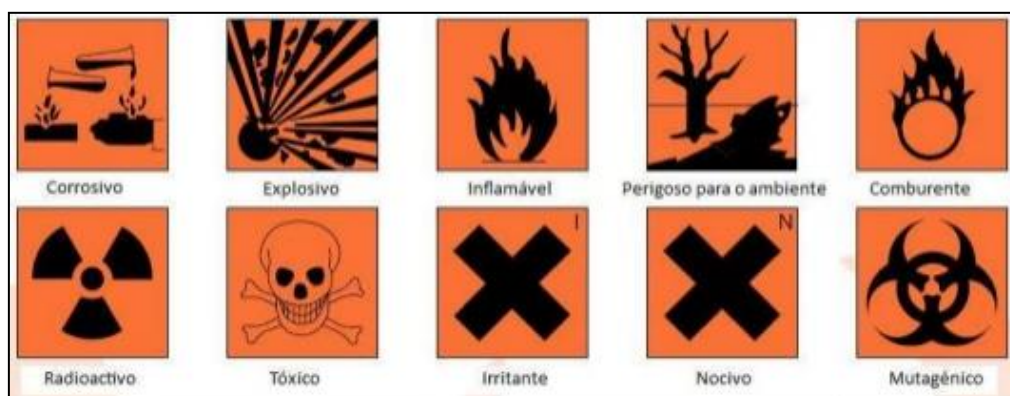


Figura 45 – Sinais de perigo (pt.slideshare.net).

- Riscos derivados da não aplicação das regras de ergonomia ao posto de trabalho

Existe um enorme leque de princípios ergonómicos que têm como objetivo prevenir determinados efeitos. Posturas defeituosas, movimentos repetitivos, esforço excessivo derivado a uma elevada carga, *stress*, são alguns exemplos de fatores que provocam riscos para o operador, caso este não cumpra as regras de ergonomia (Figura 46).



Figura 46 – Postura correta vs. Postura errada (vivercomsaudeblog.wordpress.com).

2.3.2.4.4 Dispositivos de proteção

Apresentado de diferentes maneiras, o princípio fundamental de proteção defende, de uma forma genérica, que a segurança deve ser sempre garantida, mesmo dentro da considerada zona de perigo. As máquinas, em geral, devem estar providas de meios de proteção que eliminem ou tentem reduzir o perigo presente nas mesmas, antes que se possa aceder ao ponto ou zona de perigo.

Este princípio deve dividir-se em quatro parâmetros essenciais:

- Os pontos ou zonas de perigo devem ser seguros pela própria posição ou colocação da máquina;
- A máquina deve estar munida de equipamentos de proteção que impeçam ou dificultem o acesso a estes pontos ou zonas de perigo;
- A máquina deve estar provida de um meio fidedigno de proteção, de modo a eliminar ou reduzir o perigo, antes que o operário possa atingir os pontos ou zonas de perigo;
- As Normas de Segurança para estas máquinas (máquinas-ferramentas) só podem distinguir meios de proteção compatíveis tanto com a sua utilização, como com o treino dos operários, enquanto métodos seguros de trabalho.

Todos os meios de proteção que constituem uma máquina, considerando o *design* e construção sólidos e com resistência adequada, devem resistir às solicitações impostas e às condições de trabalho, sem nunca afetar o tempo de vida útil dos mesmos.

Para a escolha do material dos sistemas de proteção, deve-se ter em conta possíveis aspetos como o peso e as dimensões dos mesmos, de modo a facilitar a remoção e colocação durante os trabalhos de manutenção da máquina.

Os materiais apresentados em seguida podem ser tomados em consideração (Figura 47):

- Material compacto – Normalmente é o mais resistente, mas deve permitir uma refrigeração adequada;
- Material perfurado – Mantém a relação abertura-distância ao ponto de perigo;
- Janelas transparentes – Úteis quando é necessário observar zonas de trabalho através de um resguardo; para isso, deve-se utilizar janelas de material transparente, tais como o vidro temperado ou plástico rígido (policarbonato).

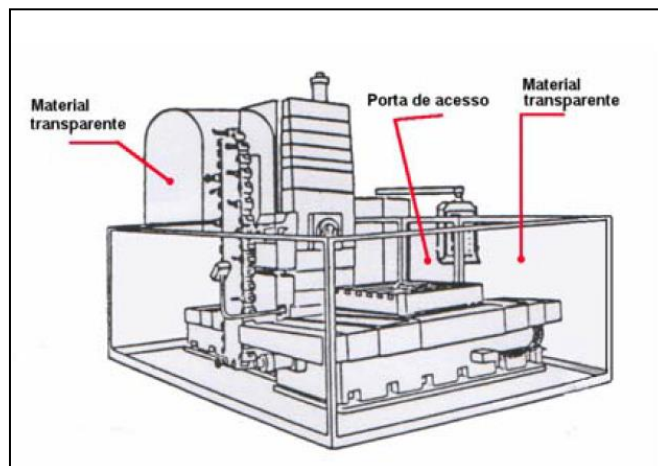


Figura 47 – Exemplo de materiais utilizados para proteções (opac.iefp.pt).

Relativamente aos sistemas de proteção da máquina, estes podem ser divididos em três grupos:

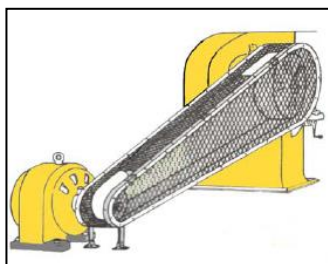
- Resguardos;
- Dispositivos detetores de presença;
- Outros dispositivos.

Preferencialmente, todas as máquinas devem possuir sistemas de proteção, de modo a proteger o operário e toda a zona de trabalho em redor das mesmas, evitando que uma peça solta atinja uma pessoa que se encontre nas imediações da máquina. Na Tabela 6 serão apresentados alguns exemplos de sistemas de proteção que se podem aplicar em equipamentos, desde proteções que impossibilitam o acesso a zonas de perigo (como os resguardos), que podem ser fixas ou móveis, passando por sistemas que reconhecem se o operário está em perigo e dão indicações

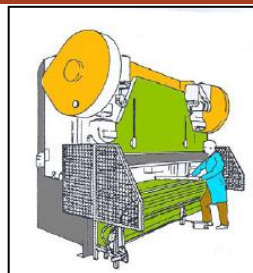
ao equipamento para que este pare todos os seus movimentos (barreiras fotoelétricas, scanners, tapetes de segurança, detetores sensíveis, entre muitos outros).

Estes dispositivos devem ser instalados de acordo com as normas aplicáveis. Os fatores que estas normas englobam passam pelas distâncias de segurança, a velocidade de movimento, a definição de tempos de paragem e a definição das classes dos sistemas de segurança.

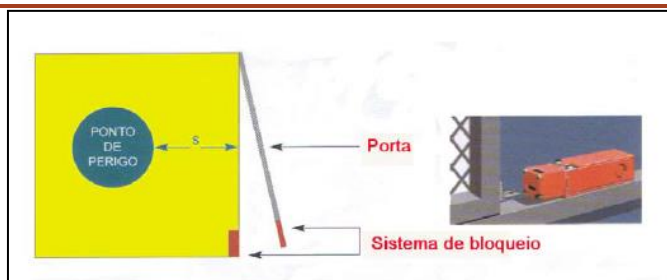
Tabela 6 – Dispositivos de proteção.



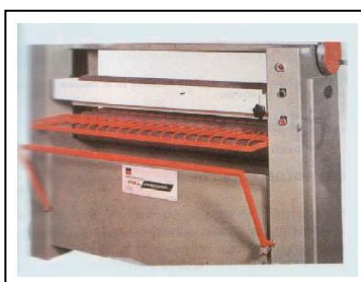
Resguardo



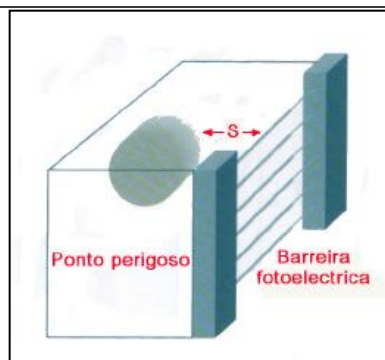
Barra distanciadora



Resguardo bloqueador



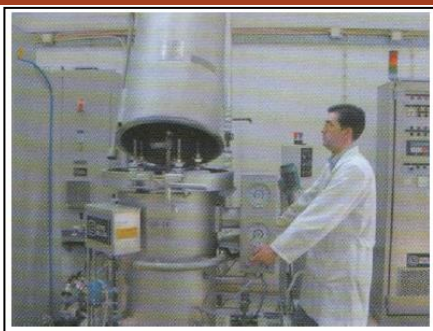
Detetores mecânicos



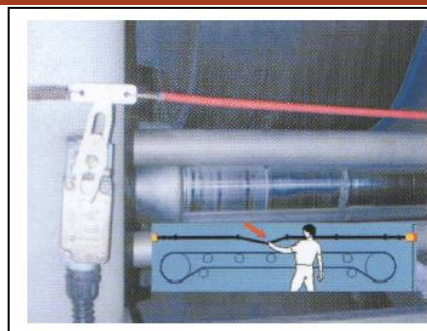
Barreiras fotoelétricas



Detetores de barras sensíveis



Comando de duas mãos



Cabo de emergência



Botão de emergência

Por fim, resta reforçar que o operário deverá utilizar equipamentos para sua própria proteção, como o uso de capacete, luvas, óculos, botas com biqueira de aço, refletores, entre outros (Figura 48). Isto porque, mesmo estando a máquina munida de todos os sistemas de proteção possíveis, o ser humano deverá estar sempre atento e auto proteger-se de possíveis riscos, ou seja – e recorrendo a uma linguagem mais coloquial – o operário não pode facilitar.



Figura 48 – Exemplos de equipamentos pessoais de proteção (civil.uminho.pt).

2.3.2.5 Compromissos possíveis entre as diferentes soluções

Desde muito cedo que os povos sentiram necessidade de se desenvolver. Por isso e para resolver os problemas que lhes apareciam, foram obrigados a criar soluções.

Em inúmeras situações, a aplicação de soluções mais simples consegue resolver sistemas bastante complexos. Muitas vezes, o tempo gasto num projeto à procura de soluções mais simples para aplicar e desenvolver um determinado mecanismo, pode ser compensatório face aos custos associados a soluções automatizadas ou robóticas.

O mecanismo de Geneva (Figura 49) pode ser comparado a um sistema de engrenagens simples, que transforma o movimento circular contínuo em movimentos circulares intermitentes. Este mecanismo possui um disco perfurado conectado a um eixo de saída acionado por uma roda dentada. Um pino na roda dentada insere-se no rasgo e move a roda pela distância prescrita, medida em graus. Este sistema é um dos mais antigos mecanismos de movimentos intermitentes e talvez um dos mais utilizados, estando aplicado em diversas situações. De realçar, também, que o seu preço, quando comparado a outros mecanismos como cames e engrenamentos intermitentes, é mais vantajoso (pt.slideshare.net/GuilhermeCrestani).

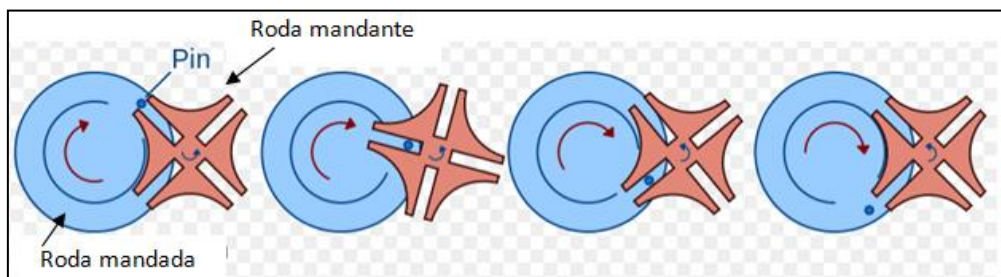


Figura 49 – Princípio de funcionamento do mecanismo de Geneva (pt.wikipedia.org).

A Figura 50 representa um exemplo de uma aplicação simples, para o posicionamento de engrenagens plásticas, que são rececionadas num posto para posteriores operações numa orientação aleatória. O objetivo consiste em passar infinitas posições aleatórias para um número reduzido de posições. O sistema propriamente dito consiste num sistema que guia as engrenagens plásticas, entre apenas duas posições possíveis, 0° ou 180°. O sistema baseia-se numa chapa metálica com uma geometria própria para receber e posicionar engrenagens (Brito, 2014).

Com isto, verificou-se a capacidade de sistemas mecânicos simples poderem resolver problemas complexos.

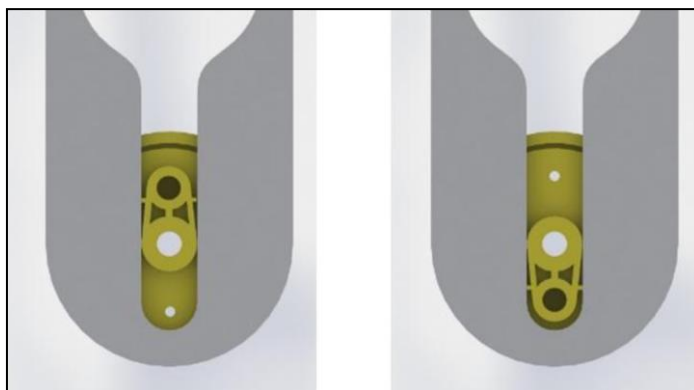


Figura 50 – Posicionamento de engrenagens plásticas (Brito, 2014).

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA QUE ACOLHEU O PROJETO
- 3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA
- 3.3 ELENCAÇÃO DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA O NOVO EQUIPAMENTO
- 3.4 FILOSOFIAS DE TRABALHO CONSIDERADAS
- 3.5 SOLUÇÕES PRÉVIAS: ANTEPROJETOS DO EQUIPAMENTO
- 3.6 DEFINIÇÃO DO PROJETO FINAL
- 3.7 LISTA DE PEÇAS, COMPONENTES E DISPOSITIVOS
- 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O EQUIPAMENTO
- 3.9 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA O EQUIPAMENTO
- 3.10 CARACTERÍSTICAS FINAIS GLOBAIS DO EQUIPAMENTO PROJETADO
- 3.11 ALIMENTADOR DE CARÇAS – UMA IDEIA EM CONSTRUÇÃO
- 3.12 VANTAGENS E POSSÍVEIS LIMITAÇÕES DO EQUIPAMENTO PROJETADO

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da empresa que acolheu o projeto

No início do século XX, um fazendeiro suíço de nome Christian Streit viajou para França para criar o seu próprio emprego. O seu filho, Emilie, seguiu as suas pisadas e também enveredou pela agricultura. Porém, desde cedo, este jovem mostrou uma enorme habilidade com ferramentas e, muito rapidamente, se apaixonou por tudo o que é mecânico, levando a vender o seu conhecimento (*know-how*) a empresas industriais vizinhas.

A irmã de Emilie, Jeannette, nasceu com uma deficiência e ninguém a queria empregar. Deste modo, Emilie e o seu irmão René decidiram criar uma atividade industrial, para que a sua irmã pudesse sobreviver (delfingen.com).

Assim, em 1954, iniciaram uma empresa de fabrico de pequenas bolsas de plástico. Emilie tomou gosto pela fabricação e decide alargar horizontes, começando a fabricar sacos de plástico para a *Peugeot*, nascendo, assim, a Sofanou, como se pode ver na Figura 51. Em 1958, comprou a sua primeira extrusora, que é instalada na casa da família, em Anteuil.

Bernard, o filho de Emilie, findou o serviço militar e, no dia 1 de Agosto de 1973, juntou-se à empresa, evoluindo o seu conhecimento sempre em contexto de trabalho. Em 1985, Bernard assumiu a liderança da empresa e decidiu implementar mudanças de elevada estratégia e importância. Após 30 anos de trabalho "artesanal", a Sofanou deu um enorme salto, passando para uma atividade verdadeiramente industrial, precisamente quando a indústria automóvel iniciou um grande crescimento. Bernard viu isto como uma ótima oportunidade e tomou como objetivo tornar-se especializado em tubos flexíveis para proteção de cablagens para veículos. Então, em 1986, decidiu tornar-se um *player* de dimensão europeia. Nos anos seguintes, a empresa expandiu-se com as primeiras aquisições: em 1994, a FELICIO, em Portugal, e a PLASTIC SIMO, em Espanha.

Já em 1996, o Grupo passou a estar cotado na segunda bolsa de valores de Paris. Com o crescimento de capital que se segue, verificou-se a expansão da HBS TECHNOLOGIE, a empresa *holding* do Grupo. Sofanou tornou-se, deste modo, uma empresa de referência na indústria automóvel, acompanhando os seus clientes nas suas deslocações geograficamente estratégicas, podendo, desta forma, oferecer qualidade e entregar produtos *Just-in-Time*. De seguida, a Sofanou instalou-se na América através de aquisições: em primeiro lugar, da APTC e da

TRUESDALL, seguindo-se a MARKEL, a JENISCO e, em 2008, M & Q PLÁSTICOS, demorando 10 anos a tornar-se líder do mercado norte-americano.

A partir do ano 2000, o grupo cresceu na sua presença global, acompanhando os seus clientes em novas áreas de produção: primeiro, no Norte de África (Tunísia e Marrocos) e, em seguida, na Europa Oriental (Eslováquia, Roménia). Sempre com vista a servir os seus clientes norte-americanos, os novos destinos foram as Filipinas, Honduras e México. Já em 2007, todas as empresas do Grupo fundiram-se num novo nome, DELFINGEN INDUSTRY, S.A, de novo a lembrar onde tudo começou para o grupo global – uma pequena vila suíça de nome Radelfingen.

No final da década passada, a Delfingen começou a posicionar-se nos países emergentes, com a abertura de uma unidade de produção no Brasil, um escritório de vendas em Xangai e uma unidade de produção em Wuhan (China), inaugurada em outubro de 2010. Em 2013, adquiriu a Kartar Wire (Índia) e Hengbang (China) e prosseguiu o seu desenvolvimento na Ásia. Em 2014, adquiriu duas empresas alemãs, LANGENDORF e MGB, fortalecendo a presença da Delfingen perto dos OEM e fabricantes de automóveis alemães, reforçando os seus conteúdos técnicos sobre *sleeving* têxtil e oferecendo uma gama mais completa e ampla de produtos para o mercado de proteção de cablagens e mangueiras de fluidos (delfingen.com).

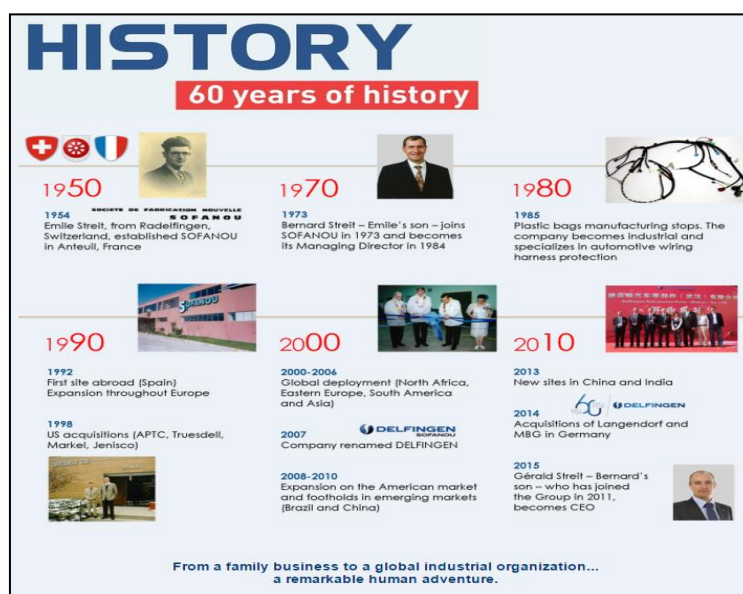


Figura 51 – Evolução da Delfingen ao longo do tempo (delfingen.com).

Como se pode verificar na Figura 52, a Delfingen encontra-se espalhada um pouco por todo o mundo, com vendas superiores a 120 milhões de euros, chegando a produzir mais de 20 000 toneladas de componentes por ano.



Figura 52 – Distribuição da Delfingen pelo mundo (delfingen.com).

A Sede da empresa, apresentada na Figura 53, encontra-se instalada na Rua Emilie Streit 25340, Anteuil, França.



Figura 53 – Sede da Delfingen, em França (delfingen.com)

Importante será referir que, em Portugal, a Delfingen está situada na Alameda da Bela Vista, 99, 4415-939, Lugar Seixezelo, Vila Nova de Gaia (Figura 54), e possui dois CAE (Classificação das Atividades Económicas): um para fabricação de equipamentos elétricos para veículos automóveis e outro para manutenção e reparação de veículos automóveis. Esta filial emprega 70 trabalhadores e apresenta 20.000,00 € de capital social.



Figura 54 – DELFINGEN Portugal (delfingen.com).

Tabela 7 – Exemplos de modelos de carcaças.

Imagem	Referência	Tipo de material
	471 491	PET-GF 45 Politereftalato de etileno + 45% fibra de vidro
	Sem referência visível	PBT-GF 30 Polibutilentereftalato + 30% fibra de vidro
	W000019888	PBT/ASA-GF 30 Polibutilenotereftalato /acrilonitrilo estireno acrilato + 30% fibra de vidro

Existem mais dois acessórios que têm elevada importância para este trabalho: borrachas e casquilhos (Figura 56). Estes acessórios podem adotar dois tipos de formas – redondas ou ovais – tanto para as borrachas como para os casquilhos.

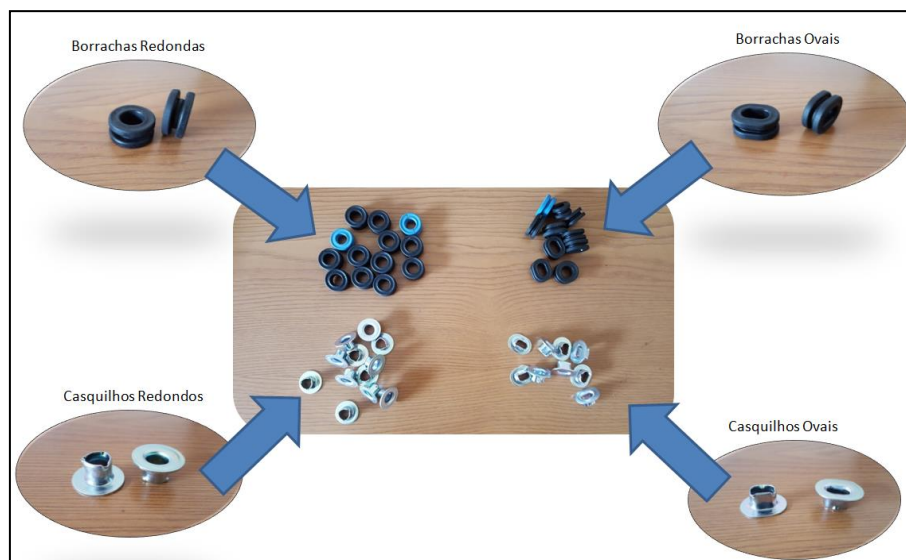


Figura 56 – Diferentes acessórios de montagem.

Como já se conhecem todas as peças envolvidas neste caso de estudo, resta, por fim, entender como é a sequência de montagem (Figura 57). Esta sequência é bastante simples, pois a ordem entre peças redondas e ovais não tem grande importância; apenas é necessário garantir que primeiro são introduzidas as peças de borrachas (redondas e/ou ovais), que são de fácil manuseamento, e só depois os casquilhos, pois estes ficam fixos no furo das borrachas. Caso se inverta o sentido de montagem, rapidamente se percebe que este não terá nenhum aspeto funcional.

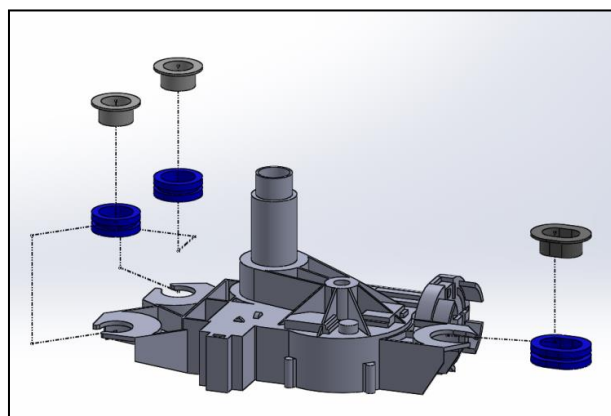


Figura 57 – Ordem de montagem dos acessórios na carcaça.

Este processo de montagem, realizado por diversos operários na Delfingen Portugal, é totalmente "artesanal", isto é, toda a assemblagem dos diversos componentes que foram referidos anteriormente é efetuada por intermédio de mão-de-obra humana.

O novo equipamento em que se baseia este caso de estudo deverá ser capaz de lidar com os diferentes modelos de carcaças, sem que seja necessário grandes alterações no mesmo. Os modelos de carcaças que são fabricados têm geometrias muito próprias, o que dificulta o seu manuseamento e a sua fixação. Contudo, estas possuem características similares entre as várias

referências, sendo estas de bastante utilidade para o projeto do equipamento. Nas Figuras 58, 59 e 60 podem-se observar as semelhanças que os diferentes modelos apresentam, tal como a altura e o diâmetro do tubo – onde posteriormente é inserido o remachado, que irá transmitir o movimento proveniente do motor para o limpa para-brisas – e a distância entre esse tubo e um pequeno veio onde é colocada uma roda dentada.



Figura 58 – Semelhança de alturas entre tubos dos diferentes modelos.

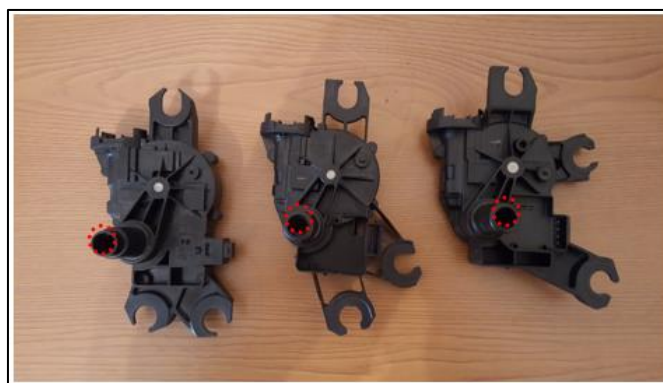


Figura 59 – Semelhança no diâmetro dos tubos.

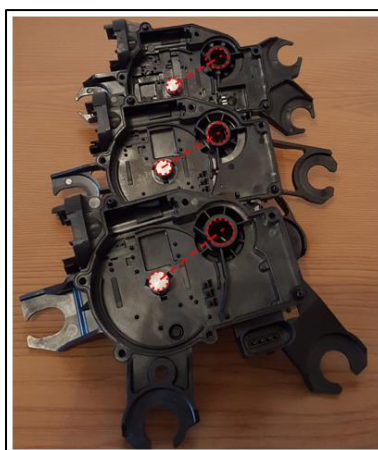


Figura 60 – Semelhança da distância do centro do veio ao centro do tubo.

Após definir os componentes necessários para a montagem e as semelhanças existentes entre os diferentes modelos, resta referir que todo o equipamento desenvolvido deverá substituir toda a mão-de-obra humana, de modo a ser capaz de introduzir borrachas e casquilhos nas carcaças com recurso à automação. Isto porque o processo atual possui pouco ergonomia, o que

faz com que os trabalhadores fiquem cansados ao fim de algumas horas, podendo afetar o rendimento e influenciar a produtividade.

Como já foi referido, a geometria e as diferenças de massa que as carcaças possuem é bastante abstrata e este equipamento terá de lidar com essas diferenças e ser capaz de o fazer de uma forma autónoma. Assim sendo, este terá de se adaptar às singularidades das carcaças e as três principais adaptações são:

- Alinhar os alimentadores com as carcaças – Este alinhamento terá que ser preciso para que as borrachas e os casquilhos entrem sem dificuldade e sem danificar o corpo da carcaça. Na Figura 61 pode-se observar o alinhamento necessário para uma referência;

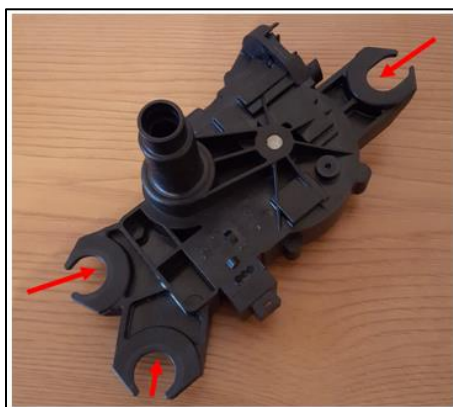


Figura 61 – Alinhamento para entrada de borrachas e casquilhos.

- Adaptar-se angularmente em relação à carcaça – Relativamente à posição, o equipamento projetado deverá posicionar-se angularmente para que o alinhamento referido no tópico anterior seja preciso. Na Figura 62 consegue-se perceber como deverão os alimentadores ser capazes de rodar para se posicionarem: tomando como origem a linha A, ou seja, o primeiro alimentador, este mantém-se alinhado com essa linha. O segundo alimentador, para se poder alinhar com a linha B, terá de se deslocar angularmente o equivalente a α . Por fim, o último alimentador terá que se deslocar $\alpha + \beta$, para que se possa alinhar com a linha C.

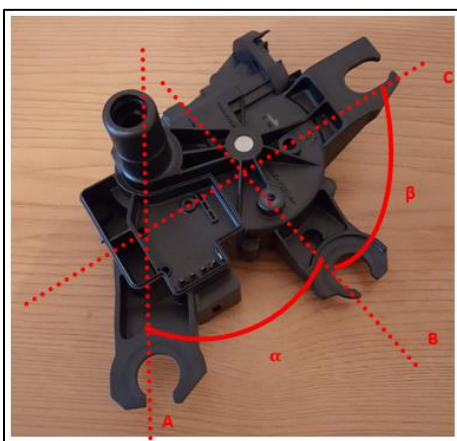


Figura 62 – Exemplo para rotação dos alimentadores.

- Diferença de planos – Determinadas referências de carcaças possuem planos diferentes de entrada de borrachas e casquilhos (Figura 63). O equipamento terá de ajustar a altura D dos alimentadores com estes planos para que o alinhamento de entrada de acessórios seja garantido.

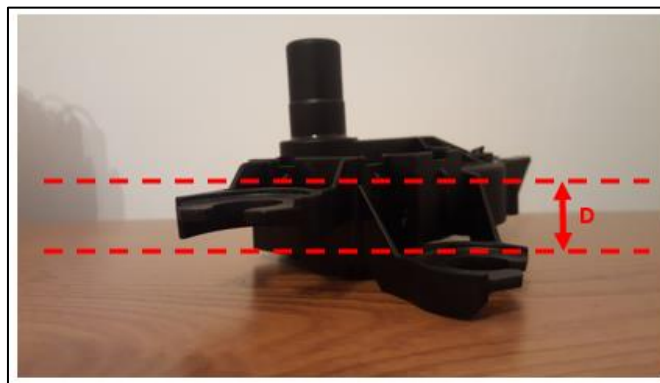


Figura 63 – Diferença de cotas entre os planos de alinhamento.

Posto isto, este equipamento deverá oferecer qualidade, rigor e tempo de ciclo muito menor, de forma a aumentar a produção de componentes num dado período de tempo.

3.3 Elencagem dos requisitos necessários para o novo equipamento

Após conhecer o projeto a desenvolver e de ter estudado todas as características das carcaças, resta, antes de desenvolver o equipamento, estudar e compreender perfeitamente todos os requisitos impostos pela empresa. Na Tabela 8 serão apresentados todos os dados relativos à produção de carcaças por ano. Serão também apresentados os valores relativos ao volume de produção de carcaças plásticas por ano.

Tabela 8 – Volume de produção de algumas carcaças plásticas por ano.

---	Ref. Carcaça Plástica	Volume	Percentagem	Percentagem acumulada
1	W000019888	474712	53,88%	53,88%
2	53020956	187640	21,30%	75,18%
3	471491	145840	16,55%	91,73%
4	471186	39400	4,47%	96,20%
5	471376	22440	2,55%	98,75%
6	53020966	6583	0,75%	99,49%
7	53020936	1760	0,20%	99,69%
8	471785	760	0,09%	99,78%
9	W000019888	500	0,06%	99,84%
10	W000049308	480	0,05%	99,89%
11	469960	459	0,05%	99,94%
12	474089	344	0,04%	99,98%
13	473252	161	0,02%	100,00%
---	TOTAL	881079	100,00%	---

De seguida, na Figura 64 será apresentada a demonstração gráfica dos valores representados na Tabela 8.

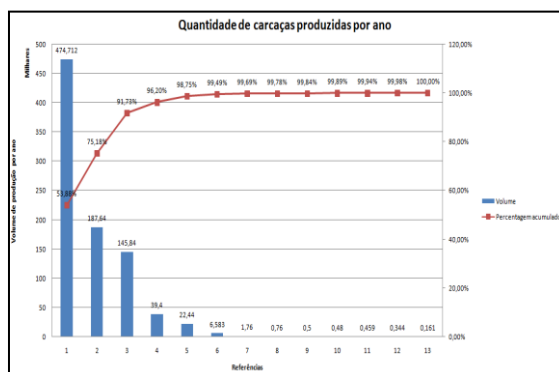


Figura 64 – Quantidade de carcaças produzidas por ano.

Posto isto, na Tabela 9 é mostrado o tempo que demora um ser humano a montar uma carcaça, bem como as quantidades de acessórios que cada embalagem é capaz de albergar.

Tabela 9 – Dados da produção.

---	Acessório de borracha	Acessório metálico
Quantidade (und.)	1	1
Tempo de montagem/unidade (s)	3	4
Tempo de montagem/carcaça (s)	22	

Relativamente ao conjunto de acessórios que cada carcaça necessita, este depende da referência da mesma. Para determinar os dados da produção (Tabela 9), foi considerada a pior situação, isto é, a referência que necessita de mais acessórios, como por exemplo as carcaças apresentadas na Tabela 7.

3.4 Filosofias de trabalho consideradas

De modo a iniciar o processo criativo e poder começar a registar as ideias, foi necessário, em primeiro lugar, estabelecer parâmetros relevantes que influenciariam todo este processo.

De antemão, e como já foi referido anteriormente, atualmente, o processo utilizado por parte da Delfingen Portugal é todo realizado manualmente. Posto isto, os requisitos que influenciaram o desenvolvimento do projeto foram:

- Redução do número de trabalhadores – Este equipamento terá de funcionar sem trabalhadores permanentes e todo o trabalho que a máquina realizar terá de ser de forma totalmente autónoma, à exceção da manutenção da mesma, o recarregamento

de acessórios (carcaças, borrachas e casquilhos metálicos) e iniciação do *setup*. Contudo, com o decorrer do tempo e analisando as geometrias das carcaças, optou-se por alargar a escala de zero trabalhadores para apenas um trabalhador permanente, de modo a que este possa controlar totalmente a máquina, estando também responsável pela sua manutenção;

- Flexibilidade – Devido à elevada quantidade de referências, este equipamento requer altos níveis de flexibilidade, de modo a que possa garantir a sua funcionalidade para todas. Assim, o equipamento projetado terá que de auto-ajustar, de modo a garantir um posicionamento correto de todas as partes envolvidas no processo, desde o posicionamento dos gabaritos até ao alinhamento da carcaça, para possibilitar a entrada das borrachas e casquilhos metálicos, sem que estes a danifiquem;
- Máxima automação – De modo a reduzir a intervenção humana, este equipamento necessita de ser todo automatizado. Optou-se, então, por garantir que a zona de trabalho fosse toda automatizada, ou seja, apenas o abastecimento e manutenção seriam realizados pelo operário responsável pelo equipamento;
- Capacidade de adaptação – Com o aparecimento de novos automóveis, advém o aparecimento de novos componentes. Como tal, é necessário que o equipamento desenvolvido garanta a adaptação a novos modelos;
- Alto nível de qualidade – O processo utilizado pela Delfingen Portugal oferece baixas garantias ao nível da qualidade, pois, como o trabalho é estritamente manual, o operário irá sofrer um elevado desgaste com o passar do tempo, o que provoca fadiga, que, por sua vez, provoca distrações, que farão com que este não esteja completamente atento, podendo deixar passar peças com defeito. Deste modo, o novo equipamento terá de funcionar com a filosofia de "Zero Defeitos", que possui elevados níveis de precisão e proporciona uma grande percentagem de carcaças produzidas com elevada qualidade.
- Redução do tempo de *setup* – De modo a rentabilizar o processo, o tempo de ciclo terá de ser o mais curto possível e terá de cumprir a cadência de peças num período de tempo imposto pela empresa;
- Cadência de peças – 1000 peças por hora.

3.5 Soluções prévias: Anteprojetos do equipamento

Com base nos requisitos impostos para este equipamento, surgiram variadíssimas ideias, tendo algumas sido rapidamente rejeitadas, mesmo sem estarem completamente acabadas, e outras ficaram só mesmo como ideias. Contudo, toda esta “tempestade” de ideias teve como resultado que o processo final se tornasse bem estruturado, eficaz e capaz de responder a todas as necessidades.

1.ª Tentativa

Inicialmente, pensou-se em desenvolver um alimentador (Figura 65), de modo a colocar as borrachas na posição que deveriam ser introduzidas na peça.

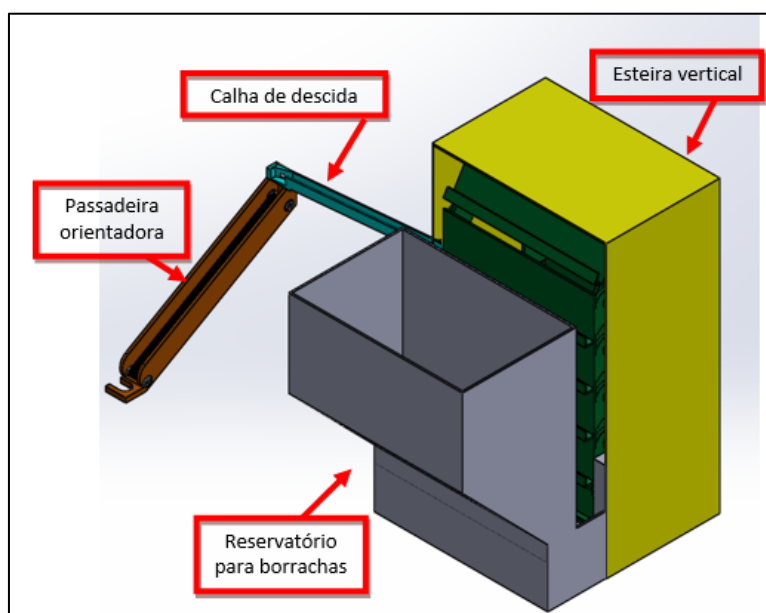


Figura 65 – 1.ª tentativa: alimentador.

As borrachas seriam colocadas no reservatório para borrachas a granel. Por sua vez, as borrachas – com o movimento da esteira – seriam colocadas numa calha (Etapa 1). Como o movimento da esteira é vertical e ascendente e a distância entre calhas é constante, estas iriam para o mesmo nível da calha de descida (Etapa 2). Posteriormente, as borrachas iriam ser empurradas por um cilindro pneumático. Já na calha de descida, as borrachas iriam rolar até atingirem uma cunha que as iria colocar na horizontal (Etapa 3), de modo a que caíssem para a passadeira onde iriam descer, até ficarem na posição de entrada nas carcaças (Etapa 4), conforme pode ser visto esquematicamente na Tabela 10.

Tabela 10 – Etapas de funcionamento.

Etapa	Imagem
Etapa 1	
Etapa 2	
Etapa 3	
Etapa 4	

Após reflexão, conclui-se que esta tentativa estava repleta de desvantagens, acabando por ser recusada. Seria muito pouco provável que as borrachas caíssem na vertical dentro da calha, ou seja, este alimentador iria ter muito pouco rendimento e iria fazer movimentos sem que existissem borrachas nas calhas.

Quando se tentasse empurrar as borrachas com um cilindro pneumático, estas iriam sobrepor-se umas às outras (Figura 66), o que poderia fazer com que estas saltassem para fora das calhas (ver esquema exemplificativo na Figura 66).



Figura 66 – Esquema exemplificativo da sobreposição de borrachas.

As borrachas, ao chegarem ao fim desta calha de descida e ao embaterem contra a cunha, ficariam na horizontal. Contudo, a probabilidade de isso acontecer seria nula, uma vez que, ao cair, a borracha iria ressaltar e sairia para fora da passadeira. Mais ainda, a inclinação da passadeira era bastante acentuada, o que intensificaria ainda mais o impacto da borracha ao cair.

Para além disto, este alimentador era unicamente para borrachas redondas, ou seja, todos os alimentadores seriam diferentes entre si devido à geometria das diferentes peças (borrachas e casquilhos ovais e redondos) e os tempos de ciclos seriam enormes, tornando impossível cumprir com a cadência exigida.

2.ª Tentativa

Após a primeira tentativa ter falhado, decidiu-se estudar e analisar, muito pormenorizadamente, todos os acessórios que existem e, rapidamente se entendeu que estes são objetos de revolução. Para proceder à movimentação destes acessórios, pensou-se em alimentadores rotativos dispostos linearmente, garantindo, assim, que todos os alimentadores seriam iguais à exceção da chapa de arrasto de acessórios, pois a sua furação iria variar entre furos redondos e furos ovais (Figura 67).

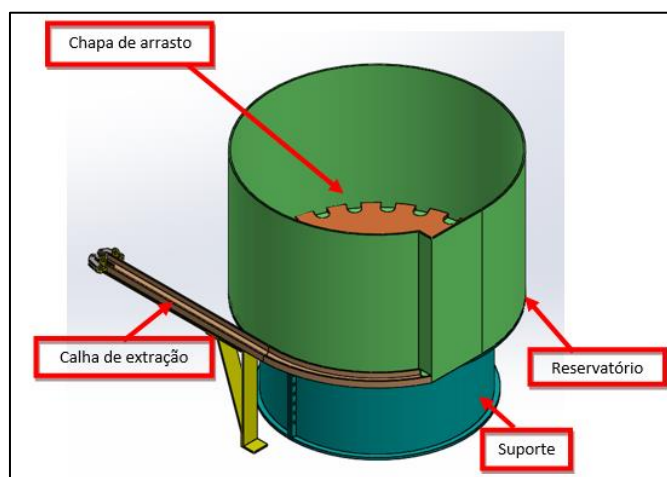


Figura 67 – Alimentador rotativo.

Para esta situação, pensou-se em alinhar quatro alimentadores, na respetiva ordem: Alimentador para borrachas redondas; Alimentador para casquilhos redondos; Alimentador para borrachas ovais; Alimentadores para casquilhos ovais.

Para proceder à introdução dos acessórios, pensou-se em utilizar um eixo eletromecânico na vertical e um cilindro de duplo efeito na horizontal, acoplado ao anterior, como se pode ver na Figura 68.

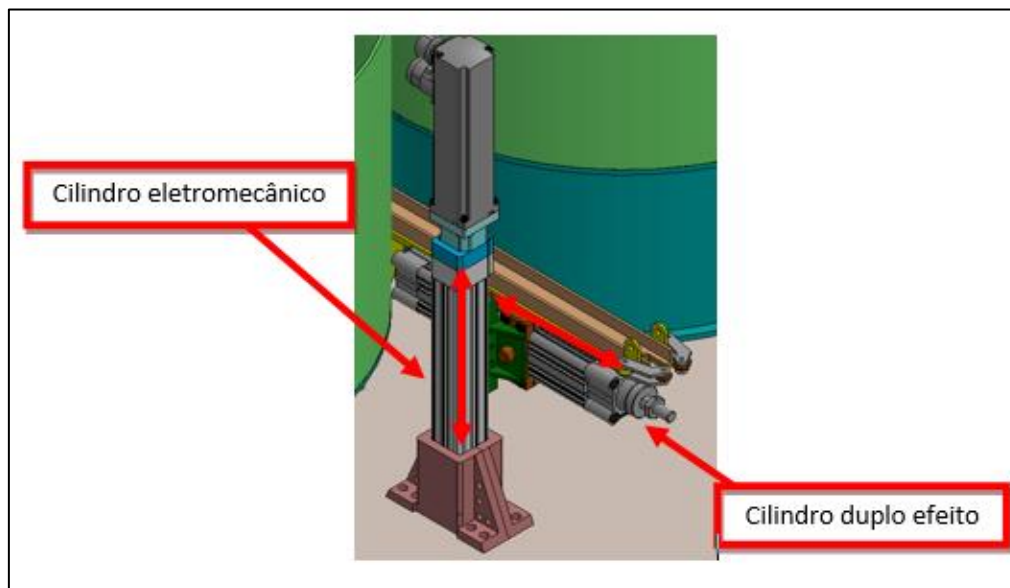


Figura 68 - Posição dos cilindros.

Contudo, rapidamente se entendeu que, apesar de este processo ser mais viável que o anterior, a viagem seria muito demorada, uma vez que a carcaça teria de passar por todos os alimentadores e teria, ainda, de rodar sobre si própria, de modo a garantir o alinhamento para proceder à entrada de acessórios. Para contornar esse problema de tempo, optou-se por utilizar duas linhas de montagem em paralelo (Figura 69) conseguindo, assim, diminuir o tempo de produção da peça para a metade.

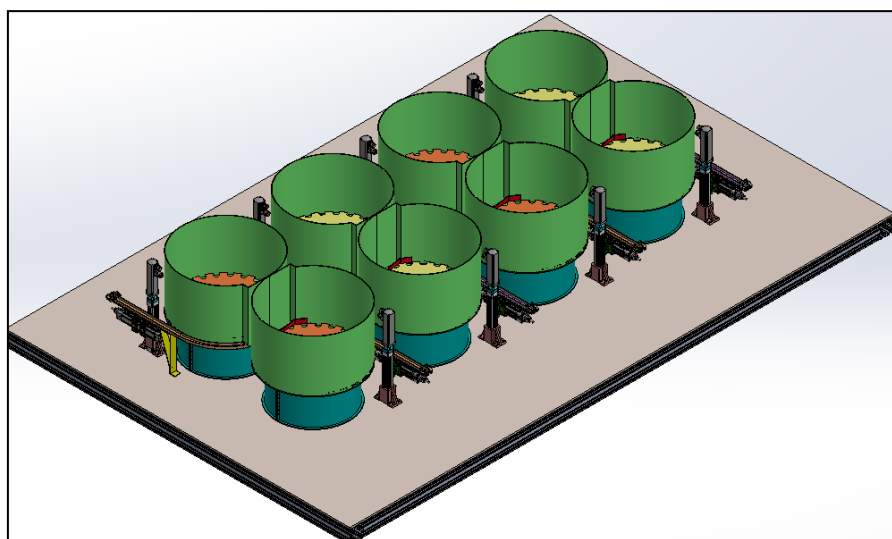


Figura 69 – 2.ª Tentativa: Linhas de montagem.

No entanto, no fim da realização da montagem acima apresentada, concluiu-se que, ainda assim, esta ideia não iria cumprir com a cadência de peças estipulada pela empresa. Além disso, tinha algumas lacunas, que se mostraram relevantes para abandonar esta ideia. Essas lacunas são:

- O tempo de ciclo, mesmo com duas linhas, não conseguiria dar resposta à cadência pedida;
- Com a constante rotação da chapa de arrasto, as borrachas poderiam sofrer desgaste por abrasão;
- A probabilidade de estarem sempre a sair borrachas seria bastante diminuta, o que seria preocupante para manter o equipamento sempre em funcionamento;
- As duas linhas de produção implicariam gastos redobrados, cuidados aumentados e desperdícios a dobrar;
- O sistema de alimentação teria de conseguir alimentar as duas linhas ou seriam necessários dois sistemas de alimentação independentes. Caso se optasse por colocar um responsável pelo equipamento, garantindo a sua manutenção e a alimentação das carcaças, este sofreria bastante desgaste.

Apesar de esta ideia ter chegado mais longe que a primeira e ter também fracassado, permitiu que a ideia final para o equipamento nascesse, uma vez que alguns aspetos desta tentativa foram passados para a ideia final, embora de uma forma mais aperfeiçoada.

3.6 Definição do projeto final

Na Figura 70 é apresentada a disposição geral dos componentes mais importantes para o funcionamento do equipamento.

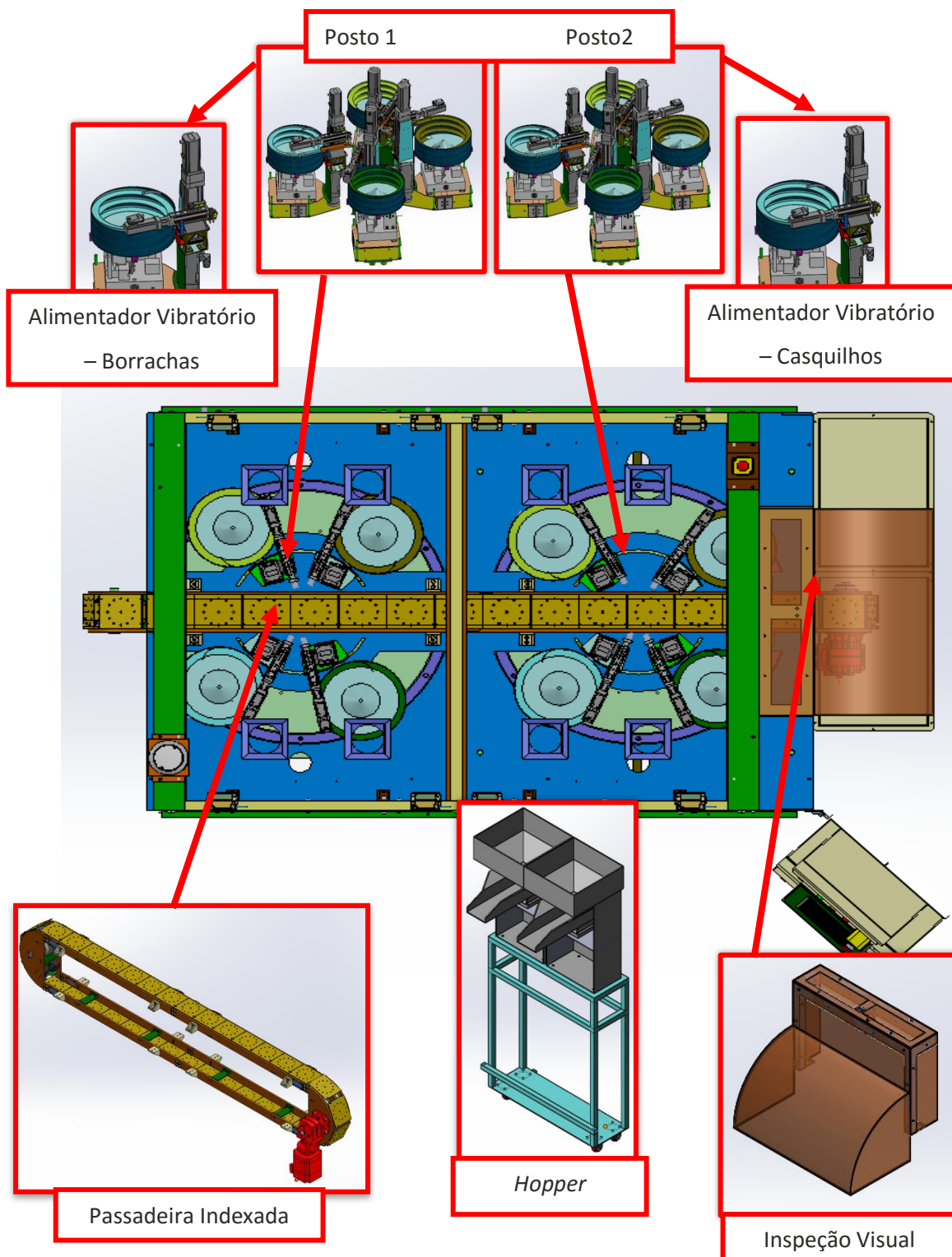


Figura 70 – Disposição geral do equipamento projetado

Após várias tentativas, que foram explanadas anteriormente, resta agora apresentar a ideia que cumpre com todos os requisitos que foram impostos, na qual foram adotados e melhorados conceitos que foram utilizados em ideias anteriores, tal como já foi referido.

Nas Figuras 71, 72, 73, 74, 75 e 76 serão apresentadas as diferentes vistas do equipamento em questão.

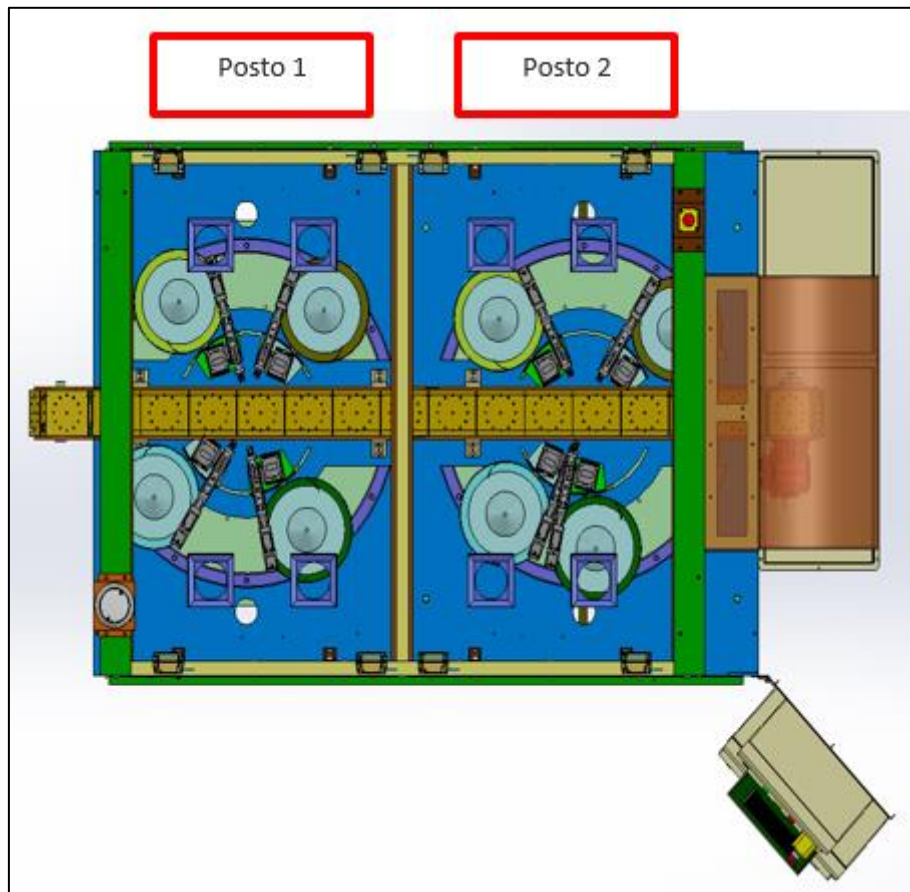


Figura 71 – Vista superior do equipamento desenvolvido.

Ao analisar a vista superior do equipamento desenvolvido (Figura 71), consegue-se verificar o movimento associado aos alimentadores vibratórios. Este movimento, descrito angularmente tanto no Posto 1 – Introdução de Borrachas como no Posto 2 – Introdução de Casquilhos, é sempre realizado em relação à passadeira, pois as paletes que compõem a passadeira suportam os gabaritos, e estes suportam as carcaças que deverão parar no centro de ambos os postos, de modo a que os mesmos trabalhem em paralelo para economizar tempo, aumentando o rendimento da produção.

Para proceder à introdução dos acessórios, aplicaram-se *pick-and-place* controlados eletronicamente. Todos os *pick-and-place* e os reservatórios dos alimentadores podem ser alterados entre eles, de modo a incrementar a flexibilidade do equipamento.

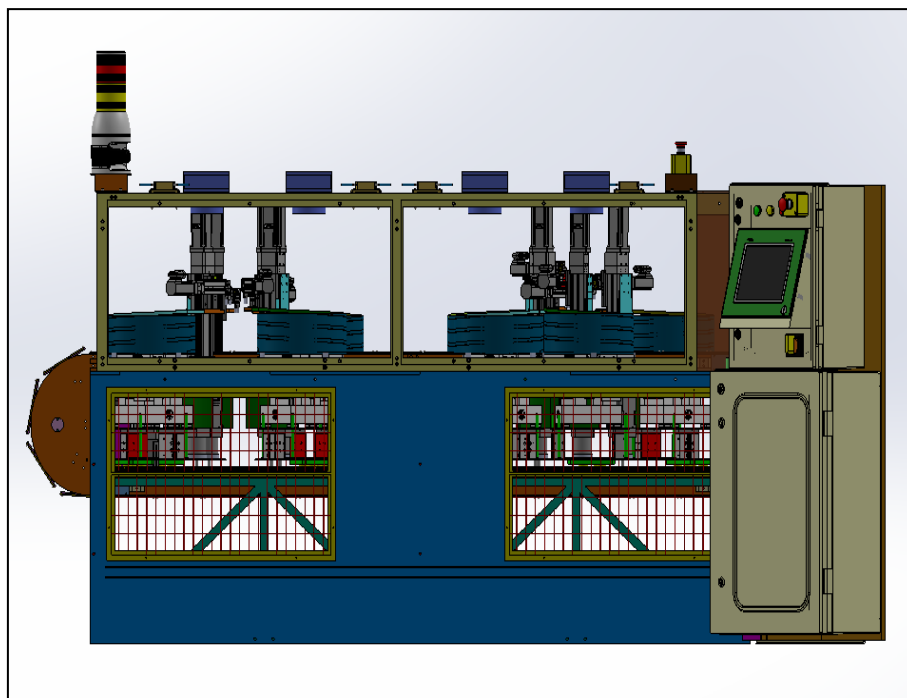


Figura 72 – Vista frontal do equipamento desenvolvido.

Nesta vista frontal (Figura 72), é possível verificar as posições do quadro elétrico e do quadro pneumático, bem como as proteções laterais. Estas proteções são amovíveis, de modo a facilitar o acesso ao interior do equipamento, caso seja necessário algum tipo de intervenção aos alimentadores ou aos sistemas de transmissão de movimento (guias, cremalheiras e servomotores). É também necessário referir que todos os alimentadores podem variar a sua posição vertical, para colmatar o problema de diferença de cota do plano para inserção de acessórios, como foi referido anteriormente.

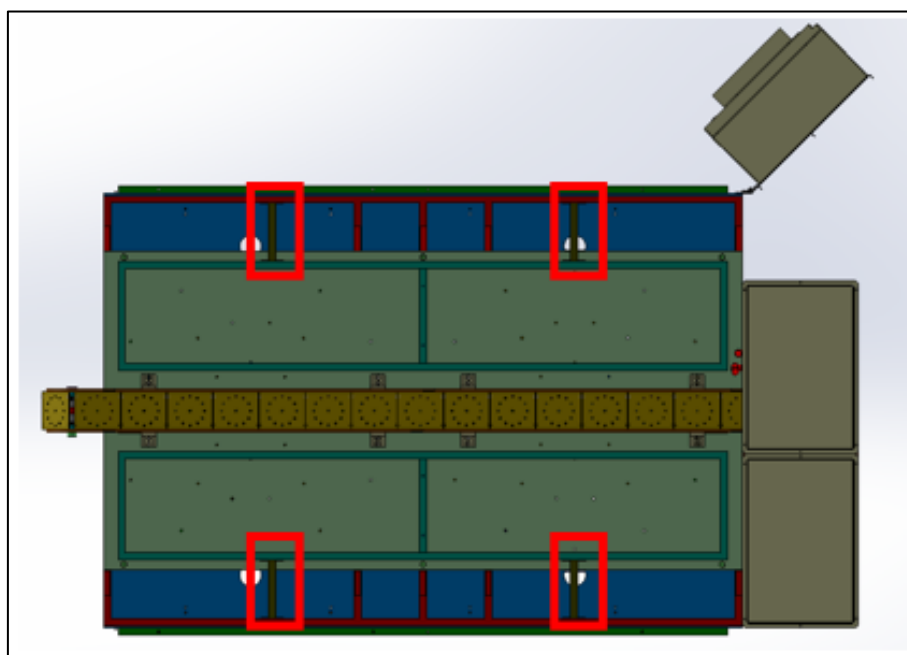


Figura 73 – Vista inferior do equipamento desenvolvido.

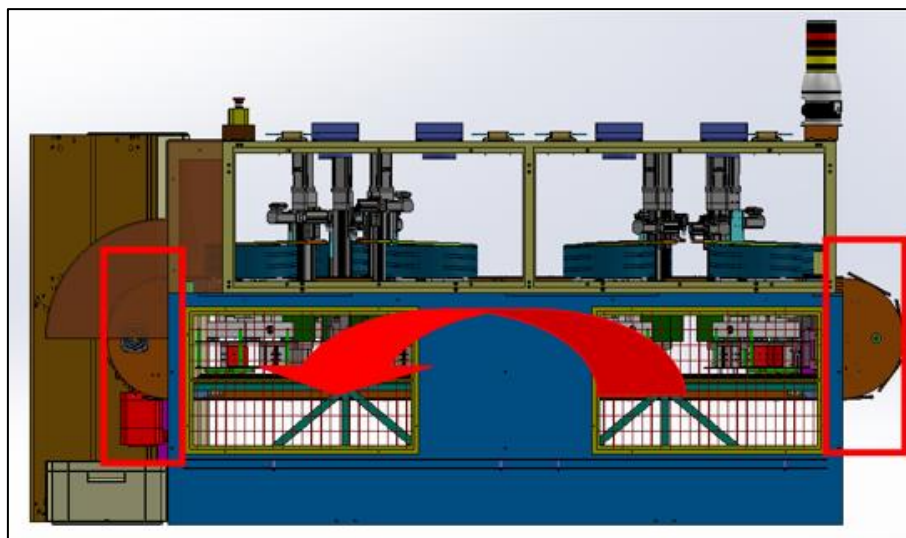


Figura 74 – Vista posterior do equipamento desenvolvido.

A vista posterior do equipamento também possui grelhas de proteção (Figura 74). De modo a simplificar o transporte de carcaças ao longo do equipamento, foi desenvolvida uma passadeira indexada. Deste modo, o movimento das paletes pode ser controlado com maior precisão, garantindo assim o correto posicionamento dos gabaritos tanto no centro do Posto 1 como do Posto 2. Como se pode verificar na Figura 74, a passadeira é montada de modo a que o sentido de rotação seja em torno da mesa de trabalho. Com isto, garante-se que as carcaças, após terem passado por todos os estágios, irão ser largadas dentro de caixotes.

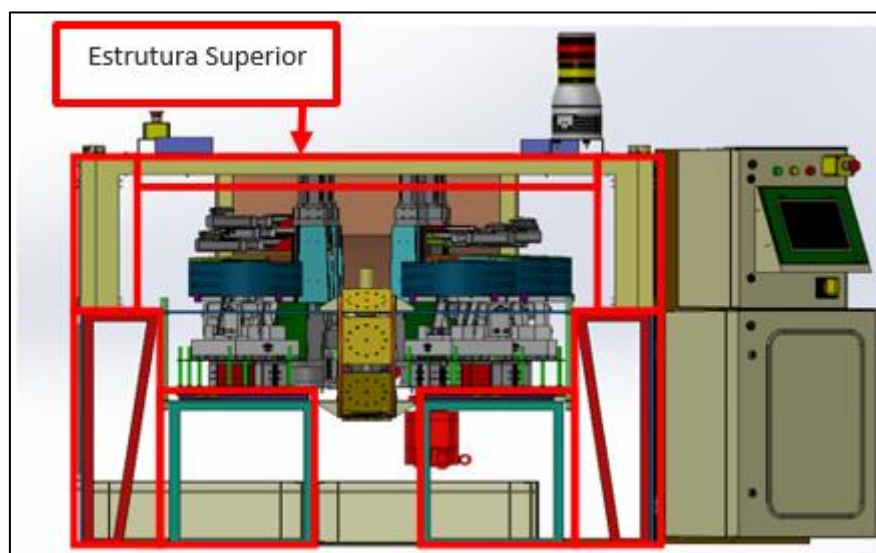


Figura 75 – Vista lateral esquerda do equipamento desenvolvido.

Como foi referido anteriormente, todo o equipamento é suportado por uma estrutura de tubo galvanizado. Para proteger os operadores e o equipamento, aplicou-se uma estrutura superior (Figura 75), de modo a evitar o acesso aos alimentadores durante o funcionamento do equipamento. Contudo, o operador do equipamento consegue visualizar a todo o momento os movimentos associados à produção, pois todas as proteções são em polímero transparente.

Caso se pretenda ter acesso ao interior do equipamento pela parte superior, basta abrir as janelas que todo o equipamento irá interromper de imediato todos os seus movimentos, uma vez que todas as proteções amovíveis estão munidas com sensores de segurança.

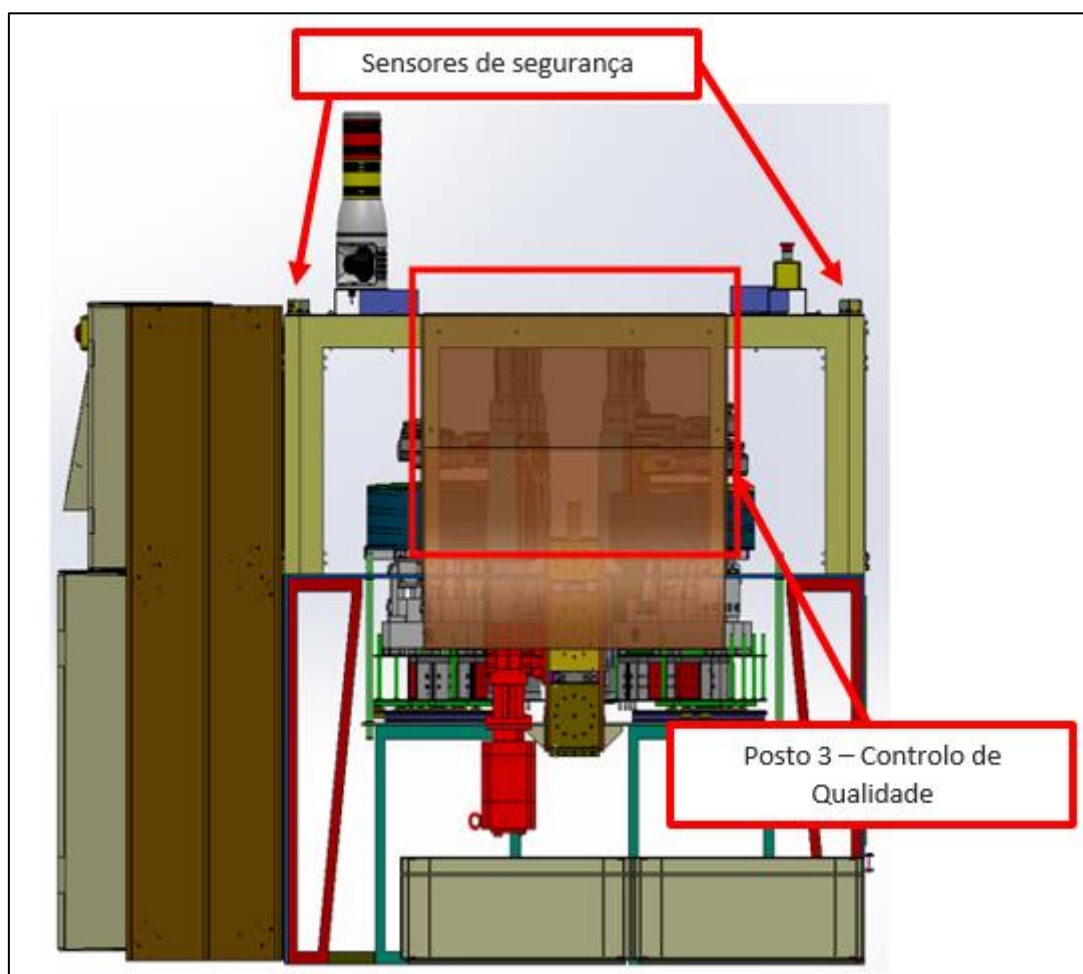


Figura 76 – Vista lateral direita do equipamento desenvolvido.

Na Figura 76 pode-se observar o Posto 3 – Controlo de qualidade. Este controlo é realizado por uma câmara que compara as montagens realizadas durante o processo com uma imagem de uma montagem correta, previamente inserida na base de dados do equipamento. Caso a iluminação na área do equipamento seja insuficiente, a câmara emite *flashes*. Assim sendo, aplicaram-se proteções em acrílico de cores escuras, para que os *flashes* constantes não incomodem o operador do equipamento, bem como os operadores que se encontram junto do mesmo.

3.6.1 Caracterização geral do equipamento: desenho de conjunto

Todos os desenhos relativos às vistas explodidas totais do equipamento, bem como a cada subconjunto, e os respetivos desenhos de pormenor, encontram-se devidamente organizados

no Anexo II. Contudo, nas Figuras 77, 78 e 79 e 80 podem-se observar algumas das vistas explodidas dos subconjuntos que estão presentes ao longo do Anexo II.

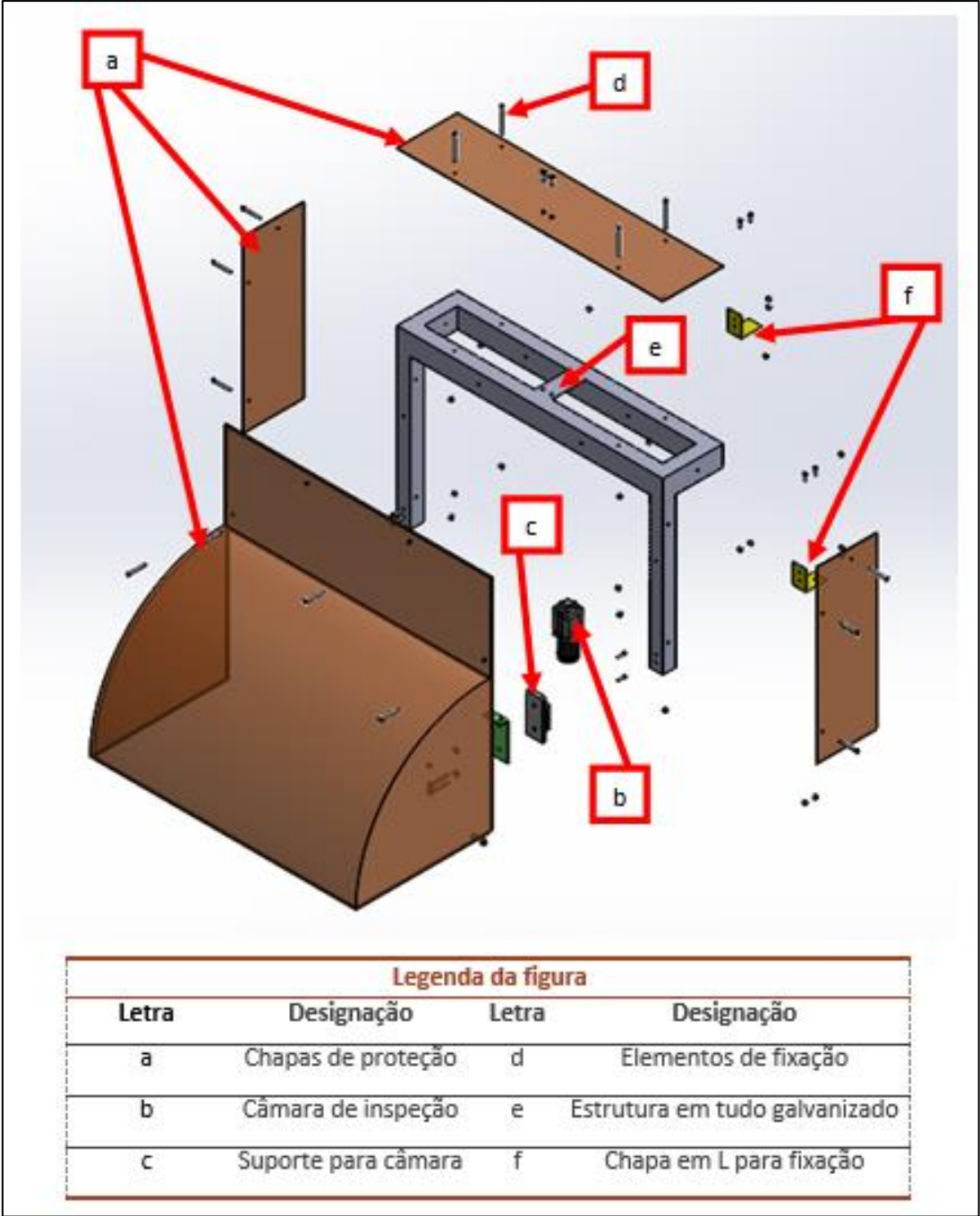


Figura 77 – Vista explodida do Posto 3 do equipamento desenvolvido.

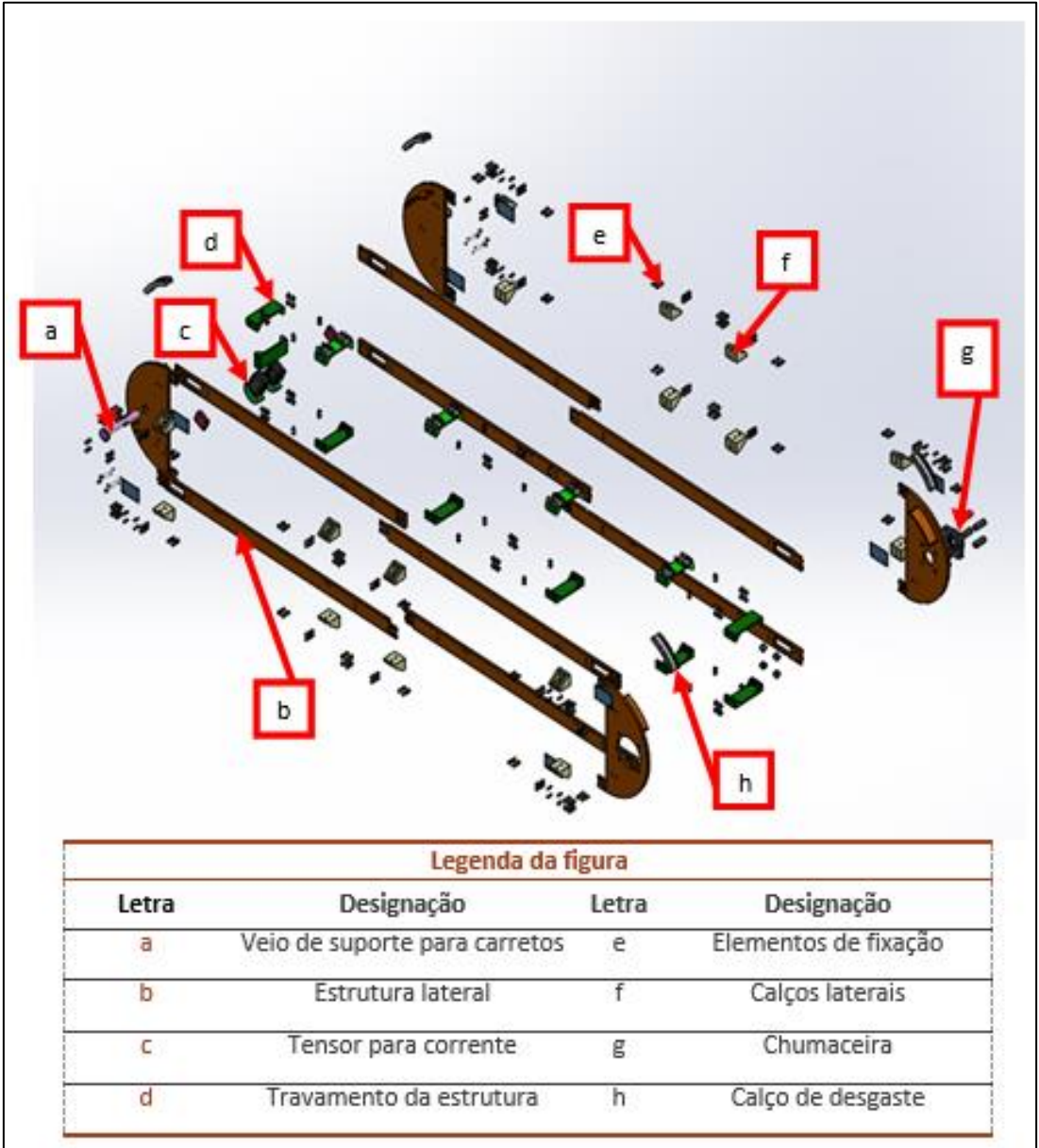


Figura 78 – Vista explodida da passadeira indexada do equipamento desenvolvido.

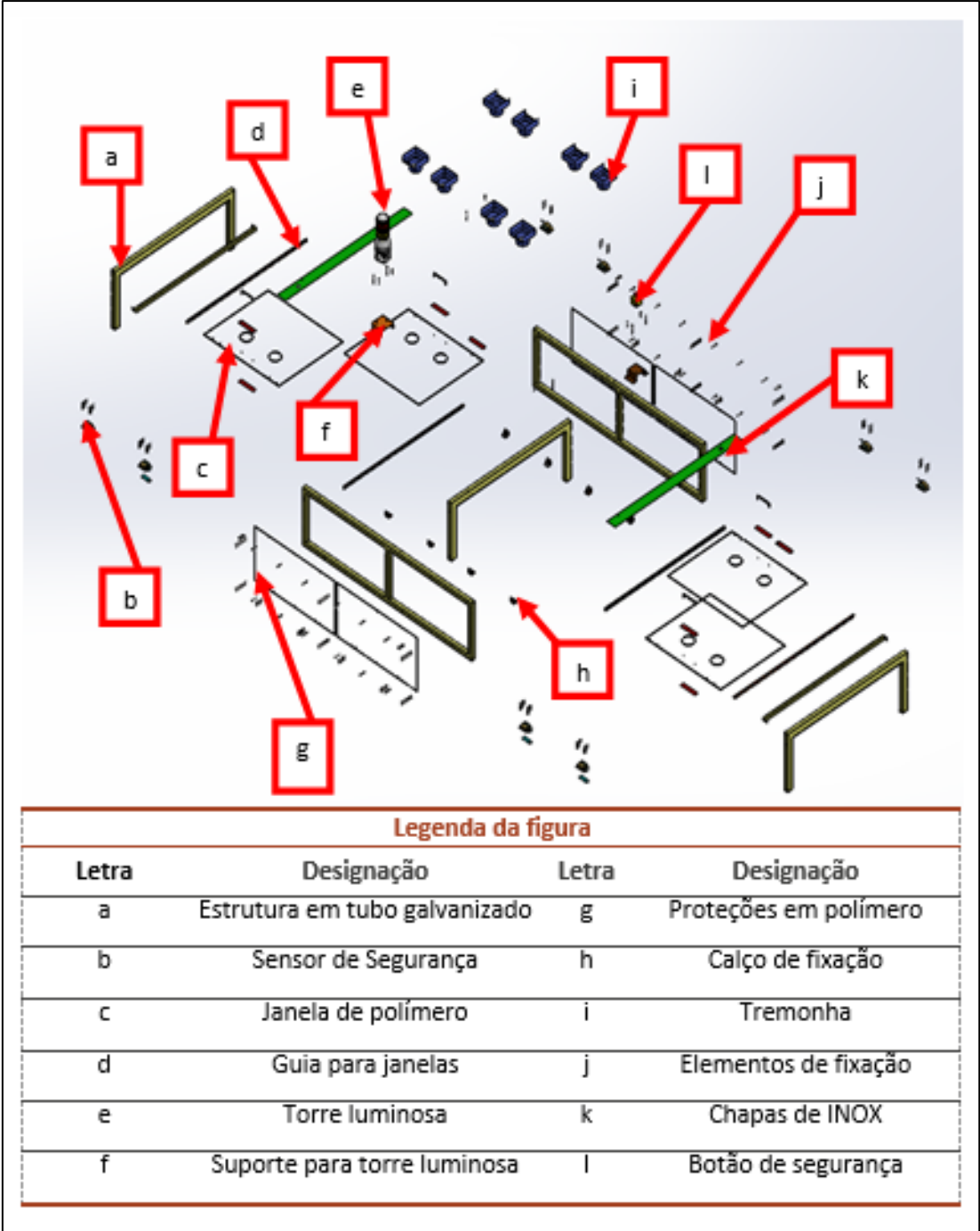


Figura 79 – Vista explodida da proteção superior do equipamento desenvolvido.

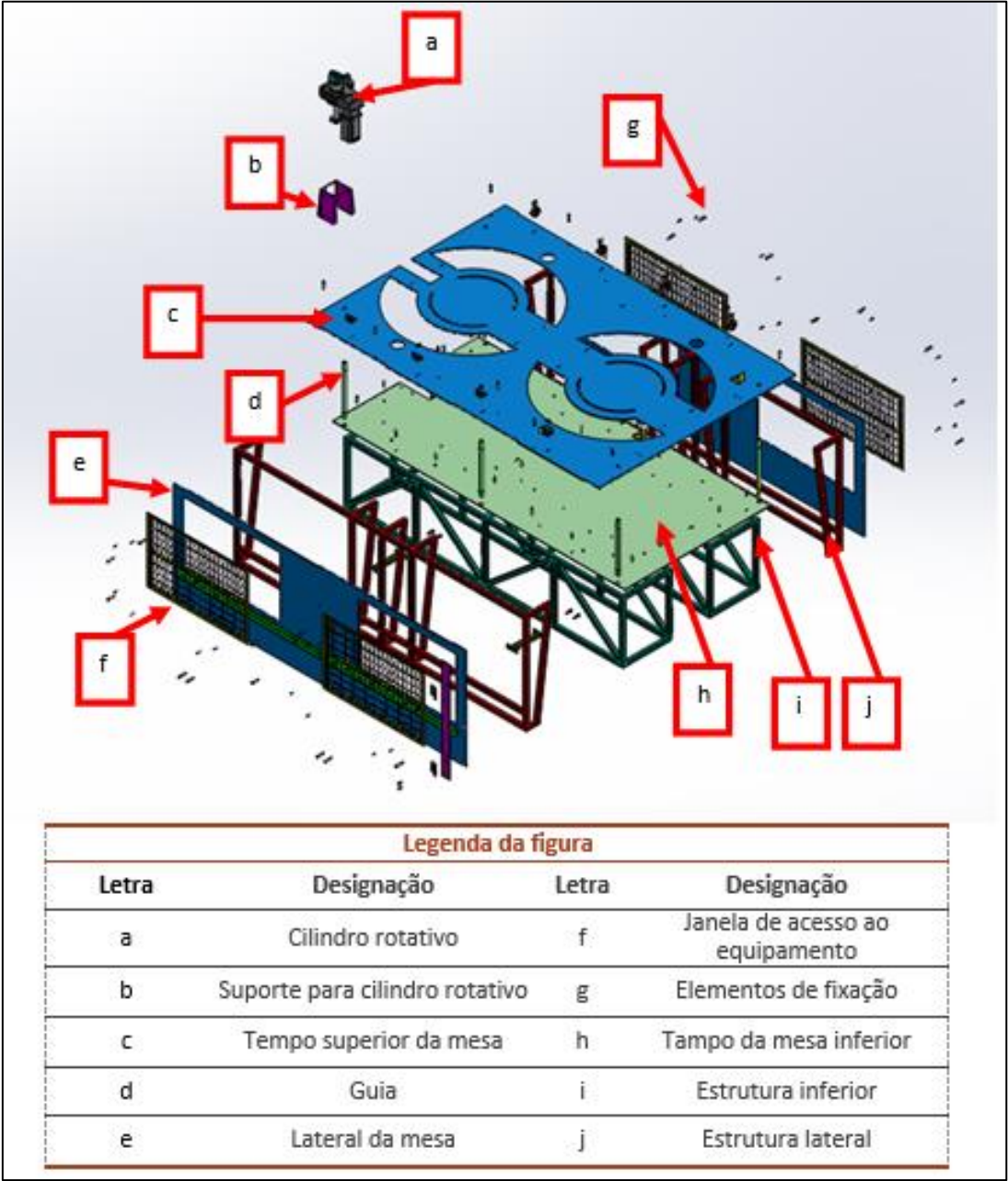


Figura 80 – Vista explodida da mesa de trabalho do equipamento desenvolvido.

Na Tabela 11 são apresentadas possíveis alternativas à fabricação de determinadas peças que constituem este equipamento.

Tabela 11 - Alternativa a alguns desenhos de pormenor.

Anexo	Número do Desenho	Alternativa
II.II	P1_P2_DWG_Rx	http://www.rnaautomation.com
II.II	P1_P2_DWG_V_E_4	http://www.asahiseiko.co.jp/ http://www.ina.de/
II.VI	OT_DWG_5	http://www.asahiseiko.co.jp/ http://www.ina.de/

3.6.2 Caracterização pormenorizada do equipamento: subconjuntos

Na Figura 70 apresentada anteriormente, são apresentados todos os componentes mais importantes deste equipamento, que serão explanados com maior pormenor de seguida.

3.6.2.1 Estrutura – Mesa

Toda a estrutura inferior – Mesa de trabalho (Figura 81) – tem a função de suportar todos os postos de trabalho que constituem o equipamento. Esta estrutura é toda ela realizada em tubo galvanizado quadrado, garantindo, deste modo, a proteção anticorrosiva e integridade estrutural desejadas, visto que este equipamento estará sujeito a vibrações constantes durante o tempo de produção. O material escolhido para as chapas laterais e tampos superior e inferior foi o aço S235 JR, que deu lugar a uma diminuição do preço das mesmas. No entanto, estas terão que passar por um processo de tratamento anti-corrosão (galvanização).

Posto isto, é importante referir que todos os elementos que constituem a mesa são fixados através de ligações aparafusadas. Com isto, apesar da estrutura e das chapas de proteção possuírem dimensões consideráveis, o transporte deste subconjunto torna-se mais fácil.

Para garantir o perfeito alinhamento em toda a estrutura, aplicaram-se guias entre a "Mesa superior" e a "Mesa inferior", e travamentos laterais para que a estrutura fique segura, evitando o risco de deformação excessiva ou colapso.

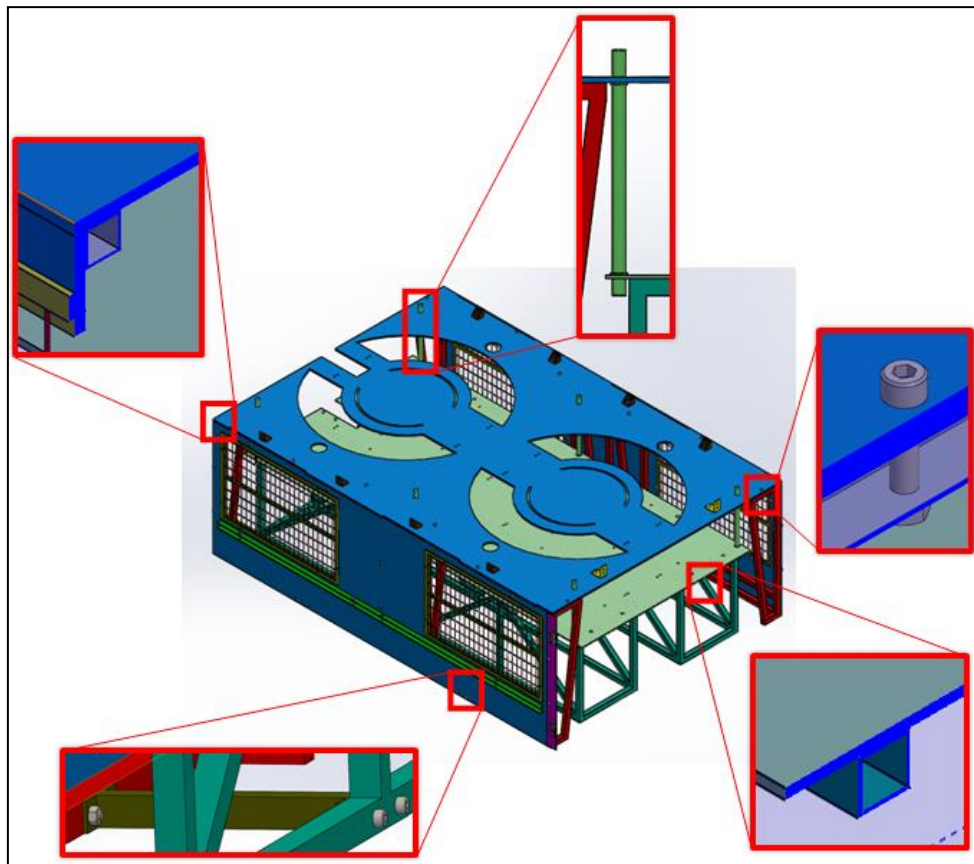


Figura 81 – Mesa – Detalhes estruturais.

A chapa superior possui cortes em semicircunferência, de maneira a que os reservatórios dos alimentadores fiquem num plano superior à mesa. Os furos que se encontram alinhados com o centro destes cortes servem para passar os cabos e tubos, de forma a que estes estejam colocados por baixo da mesa e fixos à estrutura, evitando assim que se prendam nos componentes em movimento e reduzindo a probabilidade de possíveis danos no equipamento.

3.6.2.2 Estrutura superior

O motivo pelo qual se dividiu a estrutura em duas partes deve-se ao facto de assim se simplificar a montagem do equipamento. Caso a estrutura fosse toda uma, a montagem da mesma seria mais complexa, bem como a montagem dos postos de trabalho. Deste modo, quando todos os subconjuntos estiverem montados na mesa de trabalho, basta colocar a estrutura superior e apertar a mesma à mesa inferior.

Esta estrutura também foi projetada em tubo galvanizado (Figura 82). Contudo, as medidas de secção utilizadas foram maiores, de modo a atribuir-lhe mais resistência, pois, como o equipamento é relativamente baixo, pode ocorrer o risco de algum objeto ou pessoa bater contra o mesmo. Todas as proteções laterais da estrutura foram projetadas em polímero

transparente, para que a visualização para o interior do equipamento seja facilitada. Esta estrutura possui quatro janelas deslizantes, caso seja necessário ter acesso aos postos de trabalho, com vista a efetuar algum tipo de reparação ou manutenção. Estas janelas estão munidas com sensores de proximidade, de modo a proporcionar segurança aos operários.

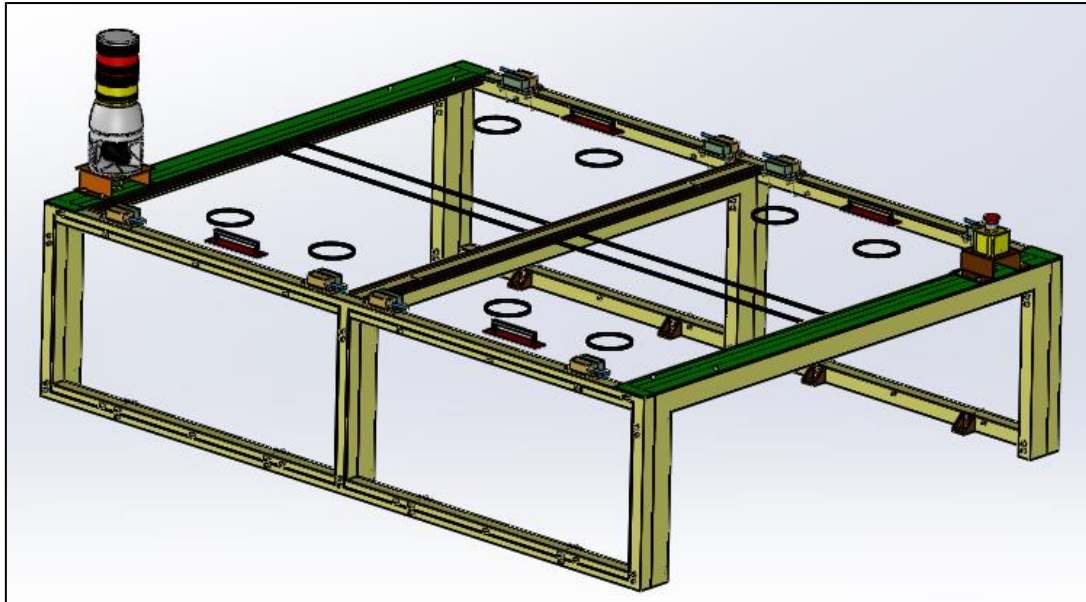


Figura 82 – Estrutura protetora superior do equipamento desenvolvido.

Para fixar a estrutura à mesa de trabalho, utilizaram-se calços em aço S235 JR previamente maquinados.

Como é possível verificar, as janelas possuem furos, de modo a que se possam montar funis para limitar a área de queda dos acessórios – borrachas e casquilhos – que caem dos *hoppers*, que irão ser explanados no tópico seguinte.

3.6.2.3 Hoppers

A definição mais simples de *hoppers* pode ser a seguinte: são os alimentadores dos alimentadores. De facto, os alimentadores vibratórios necessitam de ser alimentados com acessórios e, como se pode verificar, as suas dimensões são reduzidas, o que significa que a sua capacidade é pequena. De modo a evitar a constante presença de um operário em constante *stress* para conseguir abastecer todos os alimentadores vibratórios, instalou-se um *hopper* para cada alimentador.

Os *hoppers* (Figura 83) não são mais do que recipientes de elevadas dimensões quando comparados com os alimentadores vibratórios. Com a sua aplicação, basta encher estes equipamentos auxiliares para que o equipamento possa produzir sem que o operário esteja presente.

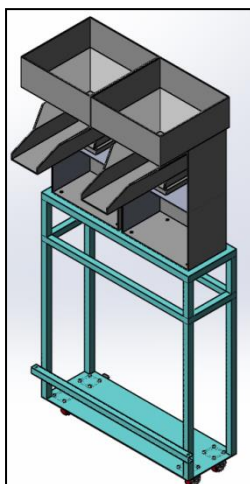


Figura 83 – Hoppers.

Após encher os reservatórios com acessórios, as mesas lineares de vibração (Figura 84) – *vibratory linear bases* – encarregam-se de fazer o abastecimento dos alimentadores vibratórios, pois, através da sua vibração, os acessórios irão ser empurrados para a frente até caírem na tremonha que se encontra nas janelas da proteção superior.

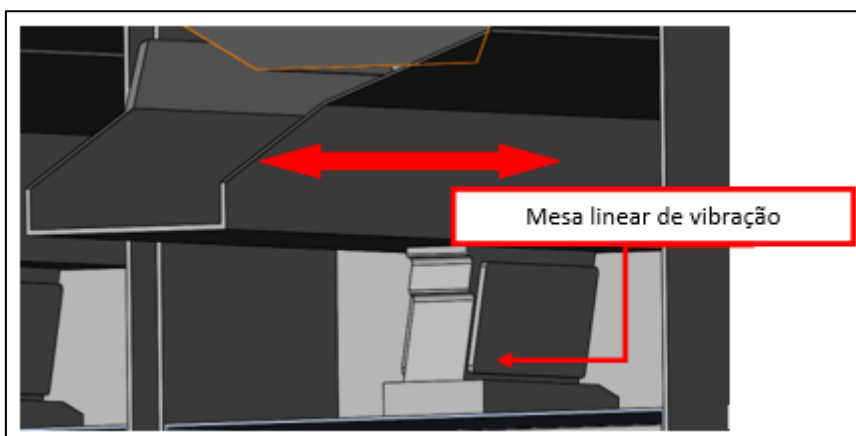


Figura 84 – Sentido de vibração do hopper.

Na Figura 85 pode-se observar a montagem de um *hopper* para melhor se entender o seu funcionamento.

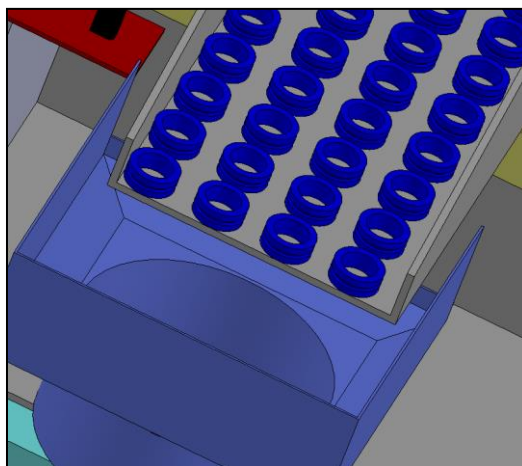


Figura 85 – Queda de acessórios para a tremonha.

Após caírem para dentro da tremonha, os acessórios serão encaminhados para dentro dos alimentadores vibratórios através de um tubo flexível, que se movimenta solidário com os alimentadores vibratórios. Este tubo tem ainda a vantagem de ser consideravelmente leve, de modo a não danificar os alimentadores vibratórios. Na Figura 86 e na Tabela 12 pode-se observar o tubo utilizado, bem com os seus dados, respetivamente.



Figura 86 – Tubo flexível (vougaflex.pt).

Tabela 12 – Propriedades do tubo flexível (vougaflex.pt).

Ø INT I.D. Ø INT mm	ESPESSOR PAREDE WALL THICKNESS ÉPAISSEUR PAROI mm	ESPESSOR FLEXÍVEL FLEXIBLE THICKNESS ÉPAISSEUR FLEXIBLE mm	PESO WEIGHT POIDS g/m	VÁCUO VACUUM VIDE mH ₂ O	RÁDIO CURVATURA BENDING RADIUS RAYON COURBURE mm	LARGO ROLLO ROLL LENGTH LONG ROLLEA m
40	1,8	0,35	200	0,04	35	10
45	1,8	0,35	225	0,04	20	10
51	1,8	0,35	250	0,04	25	10
60	1,8	0,35	300	0,04	30	10
70	1,9	0,35	315	0,04	35	10
76	1,9	0,35	340	0,04	38	10
80	1,9	0,35	360	0,04	40	10
90	2,0	0,40	380	0,04	45	10
102	2,0	0,40	420	0,32	50	10
110	2,2	0,40	520	0,30	55	10
120	2,2	0,40	560	0,25	60	10
127	2,2	0,40	590	0,25	64	10
130	2,2	0,40	600	0,20	65	10
140	2,2	0,40	650	0,20	70	10
152	2,2	0,40	700	0,20	75	10
160	2,7	0,45	880	0,18	80	10
180	2,7	0,45	990	0,12	90	10
203	2,7	0,45	1100	0,10	100	10
254	2,8	0,50	1300	0,10	125	10
305	2,8	0,50	1550	0,08	150	10
356	2,8	0,50	1820	0,08	175	10
406	2,8	0,50	2070	0,06	200	10

É de referir que estes *hoppers* são amovíveis e estão ligados ao equipamento principal apenas através de cavilhas e travados nas rodas, para garantir o perfeito alinhamento com as tremonhas.

Por fim, é necessário ter em consideração que os acessórios, mais propriamente as borrachas, irão oferecer alguma resistência ao movimento, devido ao atrito existente entre as borrachas e

as chapas do *hopper*. Assim sendo, no caso das borrachas (redondas e ovais), é necessário aplicar-lhes um líquido lubrificante antes de serem depositadas no recipiente. Podia-se ter optado por algum tipo de óleo que não afetasse as borrachas quimicamente, nem as deformar ou dissolver. Contudo, a solução utilizada no processo hoje em dia é aplicável a este método. No processo manual que é realizado atualmente, de modo a facilitar a entrada das borrachas nas carcaças e dos casquilhos nas borrachas, os operários colocam os acessórios em água com sabão. Assim sendo, esse método pode ser utilizado neste equipamento, molhando ou polvilhando as borrachas com água com sabão, de maneira a diminuir o seu atrito entre os acessórios e as calhas dos alimentadores.

3.6.2.4 Passadeira Indexada

Para transportar as carcaças ao longo do equipamento projetado, decidiu-se utilizar uma passadeira indexada, pois, desta forma, garante-se que a passadeira irá deslocar as paletes sempre à mesma distância, ou seja, o centro da palete "A" irá passar para o centro da palete "B" e assim sucessivamente, como se pode observar na Figura 87.

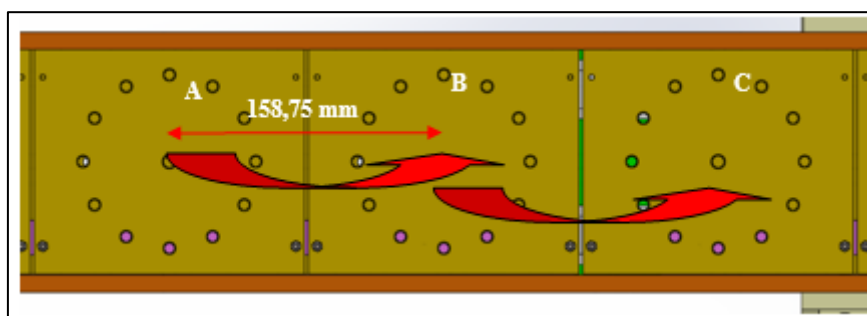


Figura 87 – Sequência de movimentos entre paletes.

Para efetuar a transmissão de movimento, utilizou-se um servomotor, de modo a controlar o tempo de andamento e o tempo de paragem, bem como as voltas que o motor deve dar para poder deslocar sempre a mesma distância, uma vez que a distância é um fator crítico para o perfeito funcionamento do equipamento. Caso esta distância não seja bem calibrada, as carcaças não irão parar no centro do Posto 1 e Posto 2, o que fará com que o equipamento não tenha a repetibilidade desejada, como será explicado mais à frente.

O recurso a correntes tornou-se bastante compensatório – apesar do seu peso ser um possível fator eliminatório – pois, desta forma, garante-se estabilidade no decorrer do funcionamento e facilidade de fixação entre as paletes e a corrente, como se pode verificar na Figura 88.

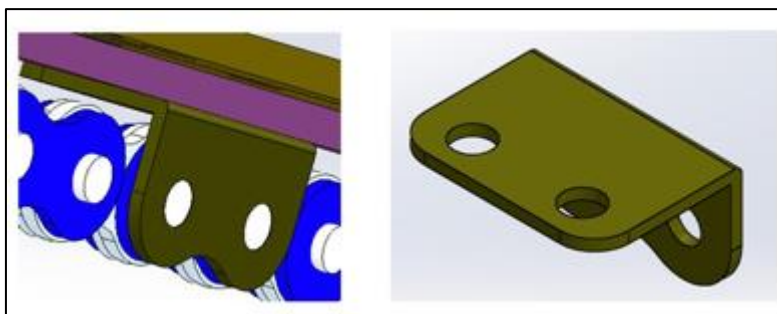


Figura 88 – Método de fixação entre corrente e palete.

É importante referir que todos os componentes que constituem a passadeira são standardizados, à exceção da estrutura e das paletes que foram projetadas.

Tanto a estrutura como as paletes foram especialmente pensadas de modo a que o material utilizado fosse a poliamida 6.6 (nylon), uma vez que este tipo de material possui qualidades muito vantajosas, como se pode observar na Tabela 13.

Tabela 13 – Propriedades físicas da poliamida 6.6 (adaptado de: plasticmoulding.ca).

Propriedades Físicas	Valor
Resistência à tração	90 - 185 N/mm ²
Resistência ao impacto	5.0 -13,0 kJ/m ²
Coefficiente de expansão térmica	80x10 ⁻⁶
Máx. temperatura em uso contínuo	150 - 185°C
Ponto de fusão	190 - 350°C
Temperatura de transição vítrea	45°C
Densidade	1,13 – 1,35 g/cm ³

Como se pode verificar na Tabela, a utilização da poliamida 6.6, neste caso em particular, representa inúmeras vantagens, como a densidade, que faz com que o seu peso seja consideravelmente menor quando comparado ao aço S235 JR, ao aço inoxidável (AISI 304L) e até mesmo ao alumínio. Para além disso, este tipo de material apresenta elevado nível de maquinabilidade e de resistência à corrosão. Pode dizer-se que não haverá qualquer tipo de problema relativamente ao trabalho contínuo das correntes, pois este não provocará desgaste na estrutura devido à aplicação de calços para o efeito nos travamentos superiores, como se vê na Figura 89. Estes calços, para além de protegerem a estrutura, ajudam a manter as correntes guiadas pelos carretos, de modo a que estas não fiquem presas na estrutura. Para evitar o desgaste excessivo dos calços aplicados e o risco de as correntes se libertarem dos carretos,

utilizaram-se dois tensores automáticos, garantindo, assim, que estas estejam sempre em tensão. Com o uso contínuo, será natural que as correntes ganhem folga; para evitar tais situações, os tensores devem aumentar o seu curso (Figura 90).

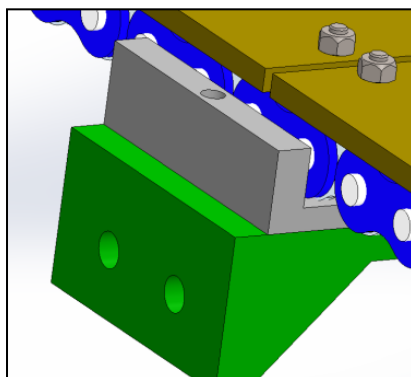


Figura 89 – Calço de desgaste.

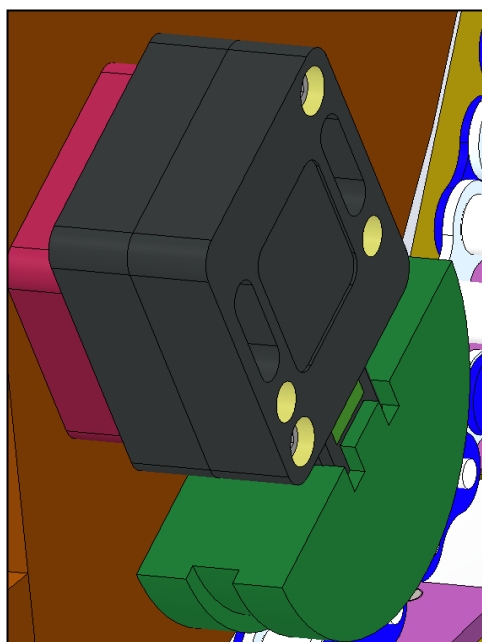


Figura 90 – Tensor.

Posto isto, é necessário falar também sobre o método de fixação das carcaças à passadeira indexada, que deve cobrir aproximadamente vinte e cinco referências diferentes. Para tal, e para atribuir maior flexibilidade ao equipamento, pensou-se em aplicar gabaritos capazes de girar 360°. Como se pode observar na Figura 91, as paletes possuem vários furos em redor de um furo central. O furo central tem como finalidade fixar o gabarito e deixar que este rode sobre o seu próprio eixo. Os restantes furos, espaçados 30° uns dos outros, têm a função de fixar o gabarito, impedindo que este gire em torno de si próprio, e saber qual a rotação necessária que o gabarito deve ter para que a carcaça fique bem posicionada.

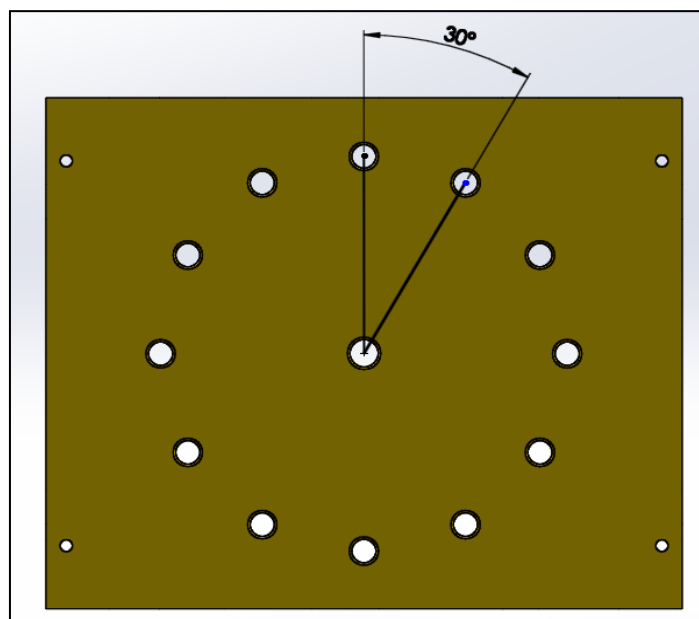


Figura 91 – Ângulo entre furos para posicionamento do gabarito.

Relativamente aos gabaritos, estes são compostos por duas partes. A primeira parte é a que fica constantemente fixa à palete, só sendo removida na presença de alguma anomalia. De notar que esta parte do gabarito pode ser considerada "universal" (Figura 92), pois a parte superior do gabarito pode ser removida e substituída, caso seja necessário, de acordo com diferentes tipos de referências de carcaças existentes. Esta segunda metade, ou parte superior, tem a característica de ser fácil e rapidamente montada na parte inferior.

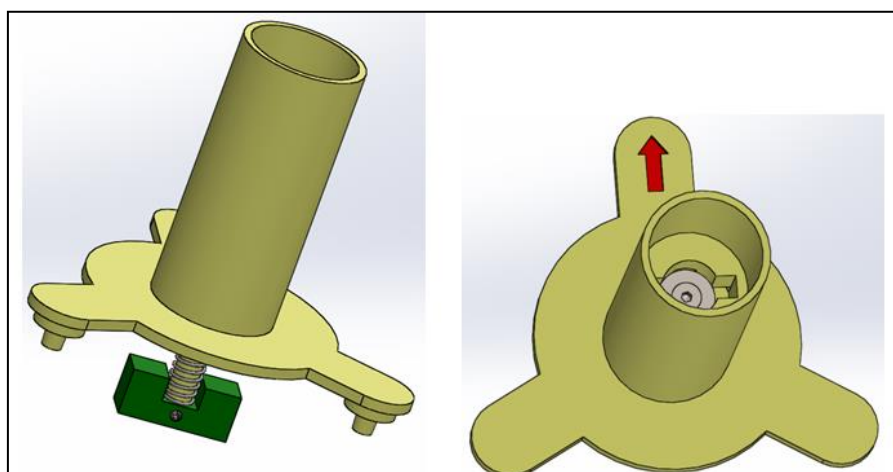


Figura 92 – Diferentes vistas do gabarito inferior.

Na Figura 93 pode-se observar a sequência de montagem do gabarito inferior. A mola 1 tem a finalidade de manter fixa esta parte do gabarito à palete, de modo a que, quando o gabarito estiver na parte inferior da passadeira – por baixo da mesa – este não caia ao chão por efeito da gravidade, como já foi referido, garantindo assim a facilidade na sua montagem e rotação. Os pinos inferiores deverão ser realizados em cone, para que, ao rodar o gabarito, seja mais fácil o seu posicionamento, entrando mais facilmente nos furos. No caso da mola 2, esta terá uma

constante maior para que o gabarito superior esteja bem fixo e não ocorra o risco de este rodar e de se libertar da parte inferior.

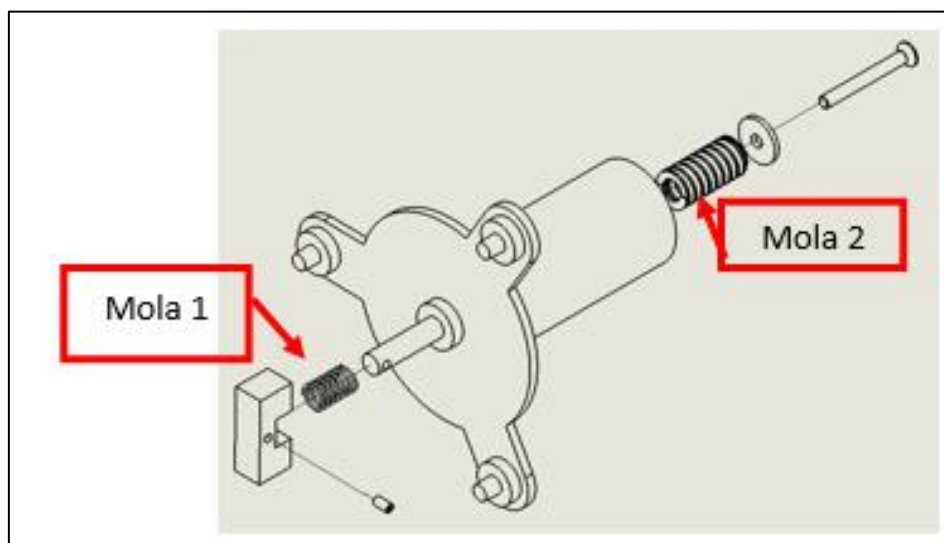


Figura 93 – Sequência de montagem do gabarito inferior.

Relativamente à parte superior, como já foi dito, esta dependerá do tipo de carcaça que se irá produzir. Caso seja necessário alterar o gabarito superior, o que não será frequente visto que uma elevada percentagem das referências utiliza o mesmo modelo (de gabarito), esta alteração terá de ser realizada com o auxílio do operário que esteja responsável pelo equipamento (Figura 94).

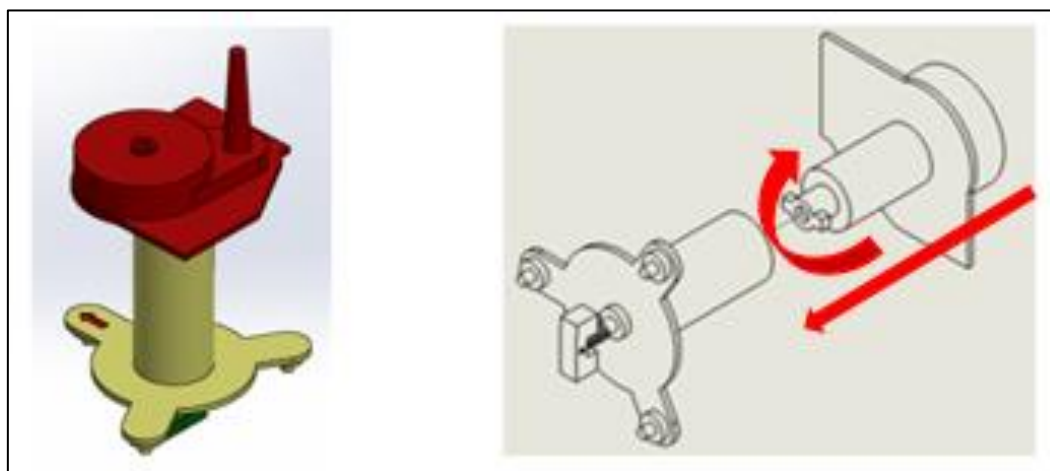


Figura 94 – Esquema de montagem do gabarito superior.

Por fim, resta explicar como será feito o posicionamento. Existem duas soluções: a primeira passa pelo recurso ao trabalho de um operário, que apenas intervirá em caso de avaria deste subsistema, pois aparecerá no LCD (*Liquid Crystal Display*), uma informação relativamente à posição atual do gabarito e para qual a posição que este deve passar. Contudo, como foi referido, esta é uma solução temporária em caso de avaria, uma vez que basta puxar o gabarito para fazer a mola comprimir e girá-lo para a posição pretendida (Figura 95).

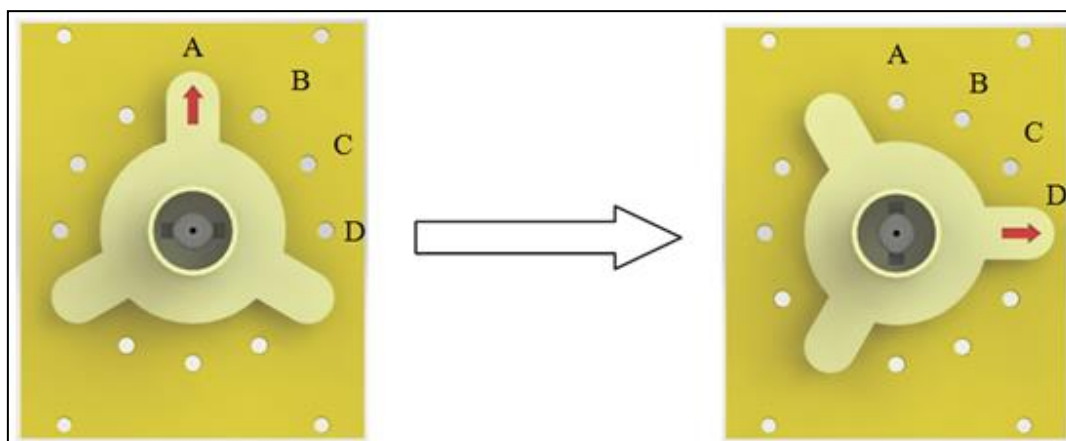


Figura 95 – Diferentes posições do gabarito (incremento da flexibilidade).

A segunda opção passa por um cilindro rotativo (Figura 96), controlado através de um servomotor, que permite saber a posição em que o gabarito se encontra e, ao ser atuado, irá expandir e rodar o suficiente para colocar o cilindro na posição indicada. De salientar que esta operação apenas é aplicada no início de cada turno, ou seja, no *setup* do equipamento, sendo só aplicável novamente caso a referência em produção se altere.

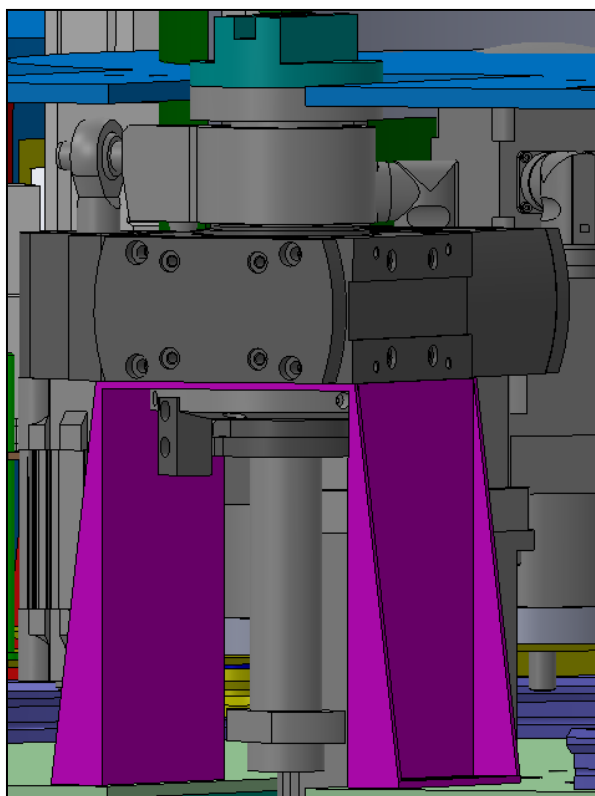


Figura 96 – Cilindro rotativo para posicionamento do gabarito.

Por fim, na Figura 97 pode-se observar a passadeira indexada, com a parte inferior do gabarito montada nas paletes.

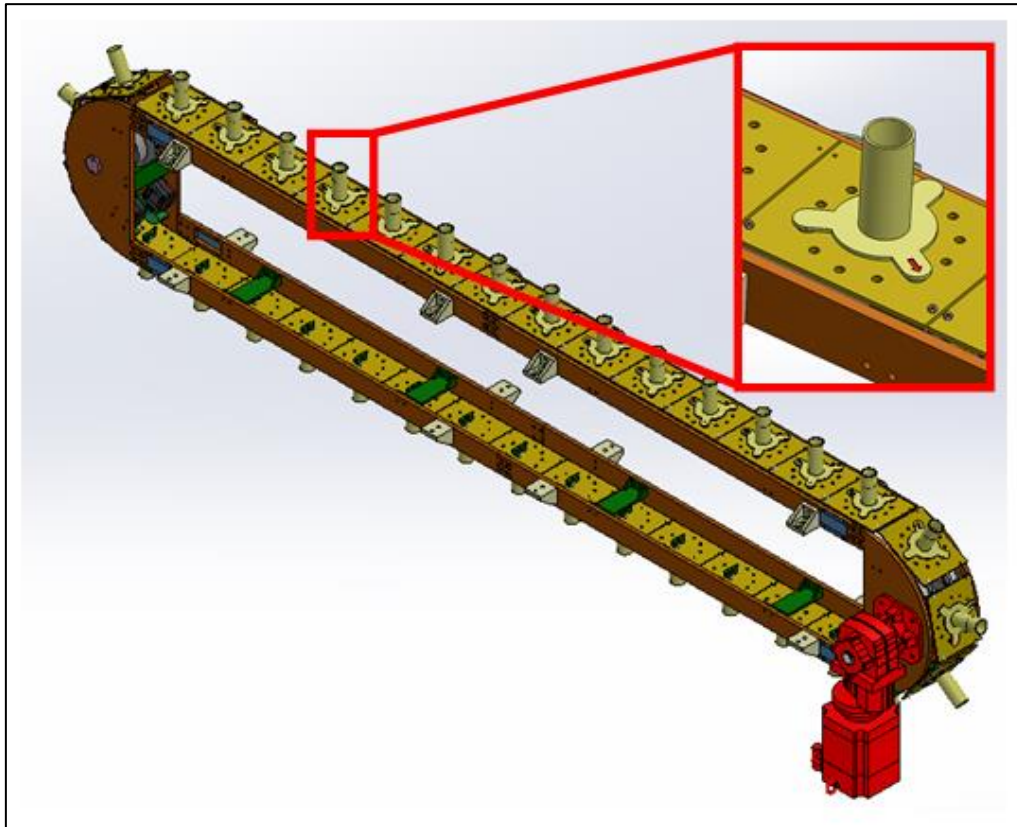


Figura 97 – Passadeira indexada.

Na Figura 98 pode-se observar em pormenor o método de fixação do gabarito à paleta da passadeira indexada. Como já foi dito anteriormente, o gabarito é fixo no furo central da paleta, pois deste modo garante-se o perfeito posicionamento do gabarito na passadeira e, por consequência, em todos os postos de trabalho.

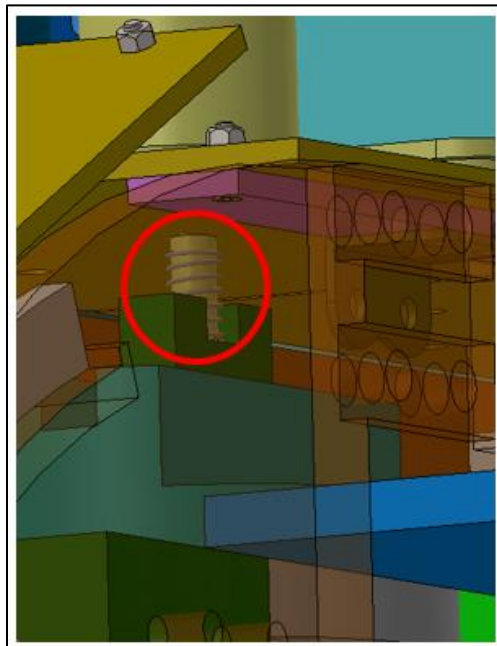


Figura 98 – Pormenor de fixação do gabarito na paleta da passadeira indexada.

3.6.2.5 Posto 1 e Posto 2

O Posto 1 e Posto 2 têm ambos o mesmo método de funcionamento, no que diz respeito ao posicionamento dos alimentadores vibratórios. De modo a cumprir o requisito das 1000 peças/hora, é necessário que todos os acessórios sejam introduzidos nas carcaças ao mesmo tempo. Assim, para organizar o equipamento, este foi dividido em Posto 1 – Posto de introdução de borrachas – e Posto 2 – Posto de introdução de casquilhos (Figura 99).

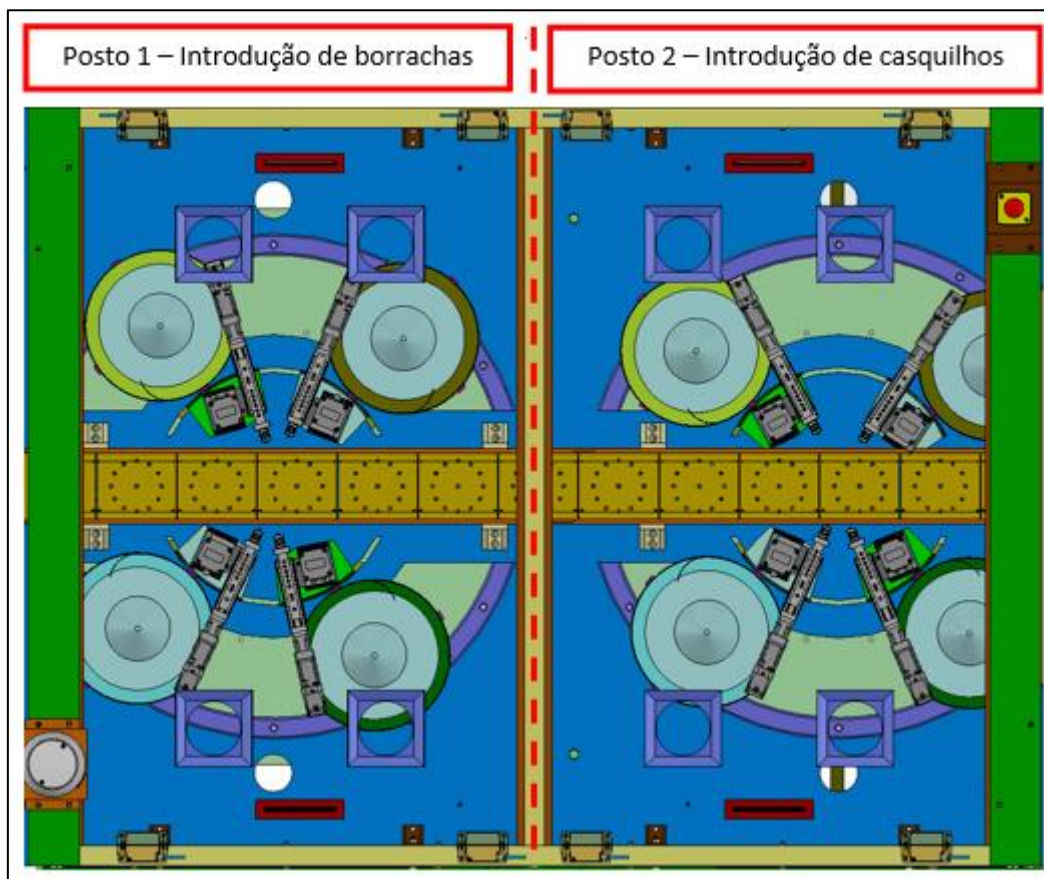


Figura 99 – Posto 1: Introdução de borrachas e Posto 2: Introdução de casquilhos.

Como se pode verificar analisando a Figura 99, os alimentadores vibratórios posicionam-se angularmente relativamente à passadeira e, consequentemente, à carcaça. Deste modo, garantiu-se o perfeito alinhamento de cada uma das calhas de saída de acessórios e os respetivos *pick-and-place* com a entrada dos acessórios na carcaça.

É importante referir que os alimentadores são montados normalmente com os *pick-and-place* virados para o interior do equipamento. No entanto, caso uma referência assim o exija, a parte superior do alimentador (Figura 100) pode ser removida, de modo a montar os *pick-and-place* do lado exterior à sua posição normal.

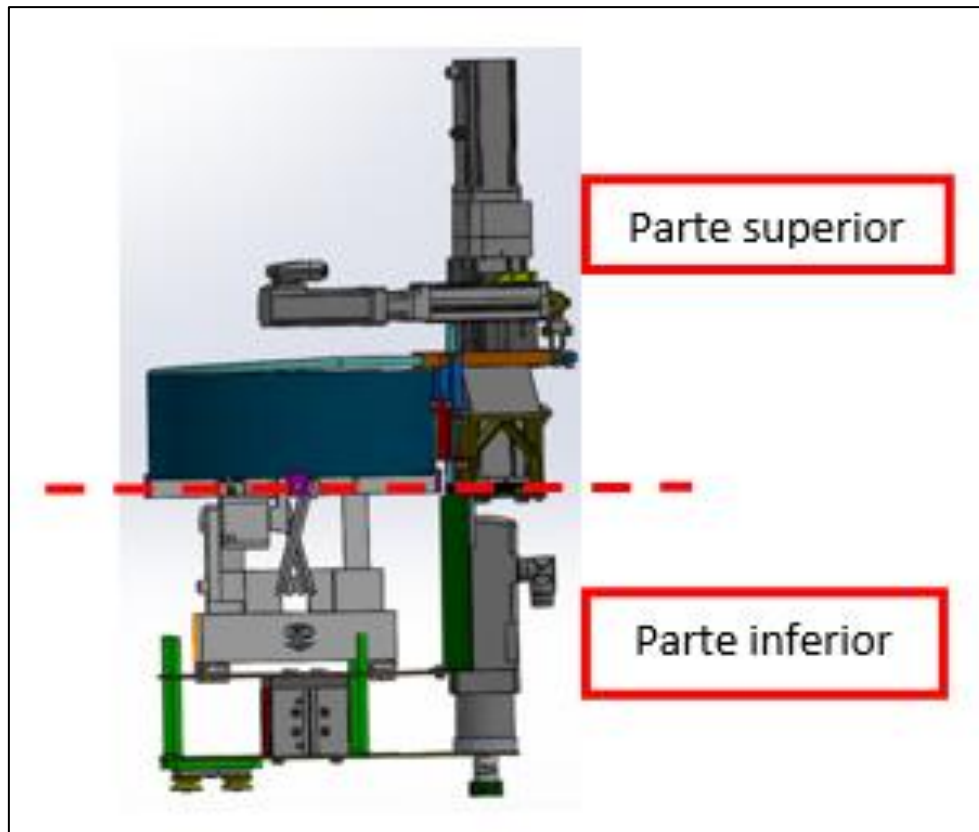


Figura 100 – Divisão do pick-and-place (Parte superior: componentes amovíveis; Parte inferior: componentes fixos).

De salientar que esta alteração do equipamento carece de algum tempo de *setup*; como tal, é necessário um estudo prévio por parte da empresa para saber qual o leque de referências que exige este *layout* do equipamento, para que o tempo gasto nesta alteração seja compensado, evitando assim a constante alteração da parte superior e consequente quebra de rendimento.

Na Figura 101 pode-se observar a diferença existente com a alteração explanada anteriormente.

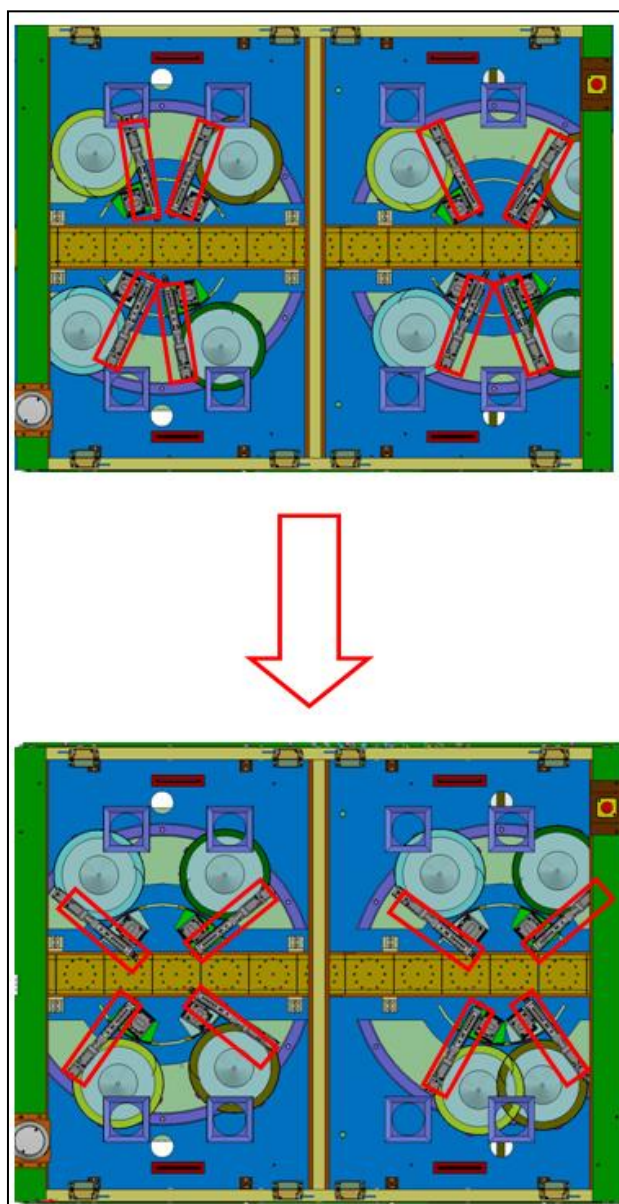


Figura 101 – Alteração da parte superior dos *pick-and-place*.

Com esta alteração, o ângulo de posicionamento abrangido pelos alimentadores vibratórios é muito maior, pois o diâmetro do reservatório (*Bowl*) não irá ocupar espaço que pertence ao deslocamento do alimentador.

Para que este deslocamento seja possível, pensou-se num sistema cremalheira e pinhão. Todavia, para manter o alinhamento dos alimentadores, aplicou-se uma guia curva e um carrinho, para que estes se movimentem mais facilmente, e um calço de poliamida 6.6, para manter estável toda a estrutura dos alimentadores durante a sua movimentação e o seu tempo de trabalho, como se pode ver na Figura 102.

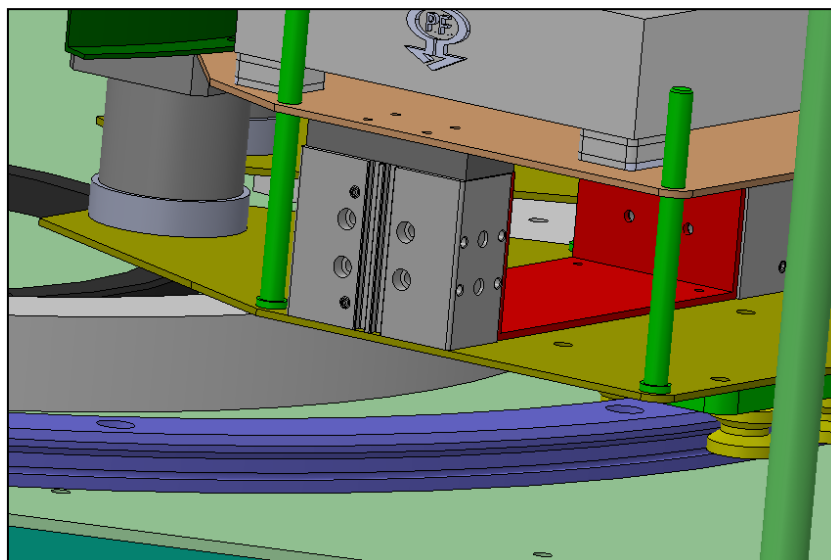


Figura 102 – Sistemas de transmissão de movimento, suporte e alinhamento.

Todos os alimentadores se posicionam numa só operação, isto é, quando é dada a ordem de posicionamento, todos os alimentadores o fazem em simultâneo, salvo a exceção caso se pretenda movimentá-los individualmente, como será explicado adiante nesta dissertação (subcapítulo 3.6.2.7.). De referir que, após a primeira movimentação, os alimentadores não necessitam de voltar à posição inicial para se poderem voltar a posicionar. Caso seja necessário alterar a referência a produzir, basta alterar a mesma no *display* que o alimentador irá mover-se para a posição desejada, sem ter que voltar à posição inicial para fazer *reset* ao equipamento. Após concluído o posicionamento angular dos alimentadores, o segundo passo consiste em elevar a sua estrutura. Pode-se dizer que, em 99% dos casos, a estrutura terá de ser elevada, pois, de momento, apenas existe uma carcaça com um desnível para introdução de borrachas, como se pode observar na Figura 63 anteriormente apresentada. Para proceder a este passo, aplicaram-se dois cilindros com duas hastes (Figura 103) para manter estável toda a estrutura e garantir o deslocamento vertical. Por uma questão de segurança, aplicaram-se quatro guias na estrutura, salvaguardando deste modo a integridade estrutural, uma vez que toda a estrutura que compõe os alimentadores irá ser afetada pelas vibrações geradas pela mesa vibratória.

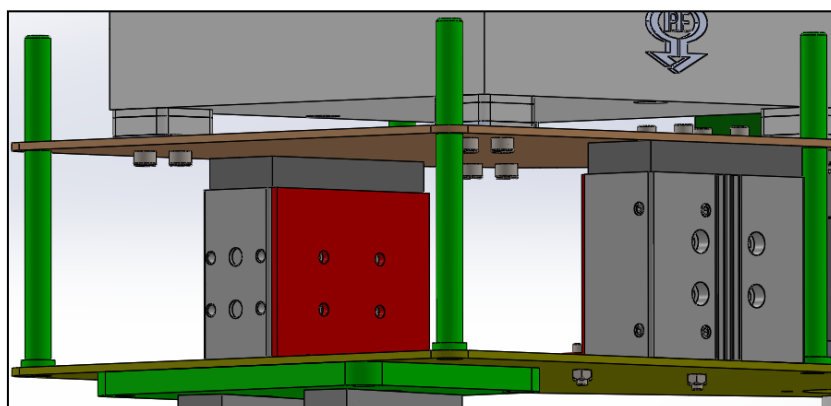


Figura 103 – Cilindros de elevação e guias.

Apesar da amplitude de vibração ser reduzida e a frequência elevada, a vibração poderá, eventualmente, causar uma ligeira instabilidade estrutural, não sendo, no entanto, suficiente para criar desalinhamento entre as calhas de saída de acessórios e a entrada dos mesmos nas carcaças. É importante referir que todas as mesas vibratórias estão equipadas com potenciômetros para controlar a potência de vibração, de modo a controlar o volume de acessórios que chegam à calha final, uma vez que a escassez de acessórios na calha não é vantajosa, pois iria atrasar o processo ou eventualmente pará-lo. Caso isto aconteça, os movimentos do *pick-and-place* serão interrompidos, pois estes só funcionarão quando o sensor de fibra ótica der sinal de leitura, o que será explanado mais pormenorizadamente adiante, neste documento. Ainda assim, um elevado número de acessórios na calha final também não traz vantagens, uma vez que pode criar obstrução na mesma.

Como se sabe, existe uma probabilidade de as borrachas e os casquilhos irem numa posição errada, ou seja, numa posição contrária à considerada correta para a entrada de acessórios na carcaça. Imagine-se o seguinte caso: a calha encontra-se totalmente cheia, estando alguns acessórios na posição errada. Estes iriam ser eliminados da calha, sendo introduzidos de novo no reservatório. Se estivessem várias peças erradas, todas elas iriam ser rejeitadas, o que iria parar o processo até que um acessório correto atingisse o final da calha. Assim sendo, a frequência de vibração terá de ser bem controlada e ensaiada antes de se começar a produzir. Todos os reservatórios são construídos em aço inoxidável, para que o atrito entre os mesmos e os acessórios seja reduzido. No caso das borrachas, quando humedecidas com água e sabão, deslizarão melhor; no caso dos casquilhos, o atrito entre os mesmos e o *inox* já por si é reduzido. Apenas no caso das borrachas ovais, casquilhos redondos e casquilhos ovais é que se torna necessário aplicar um sistema de eliminação de acessórios errados. Tomando como exemplo a eliminação dos acessórios redondos, nas Figuras 104, 105 e 106 é possível observar-se casquilhos errados a serem eliminados e casquilhos na posição correta a seguirem o caminho, passando pelo sistema de eliminação sem serem eliminados.

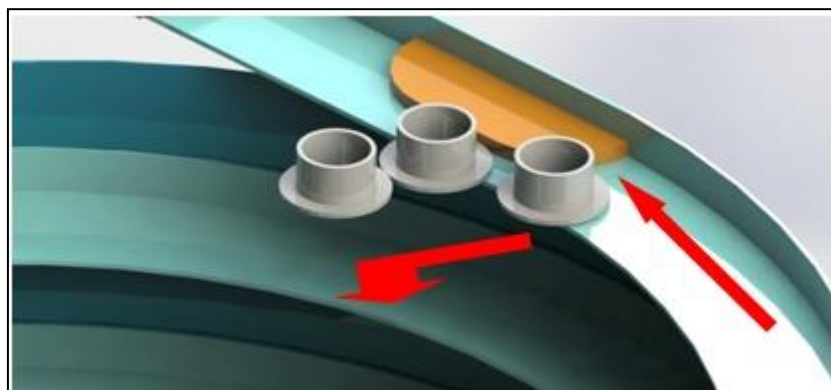


Figura 104 – Casquilhos redondos a ser eliminados da calha.

Como se pode observar na Figura anteriormente apresentada (Figura 104), os casquilhos não são uniformes quanto à sua geometria (sendo uma parte mais larga que a outra). Então, se estes forem com a aba virada para baixo, ao passar pelo sistema de eliminação, os casquilhos irão ficar mais de metade fora da calha, o que fará com que estes caiam (com a força da gravidade) de novo para dentro do reservatório.

No caso de estes se encontrarem com a aba virada para cima (posição correta), irão continuar pela calha sem ser eliminados, pois a aba irá passar por cima do sistema de eliminação (Figura 105).

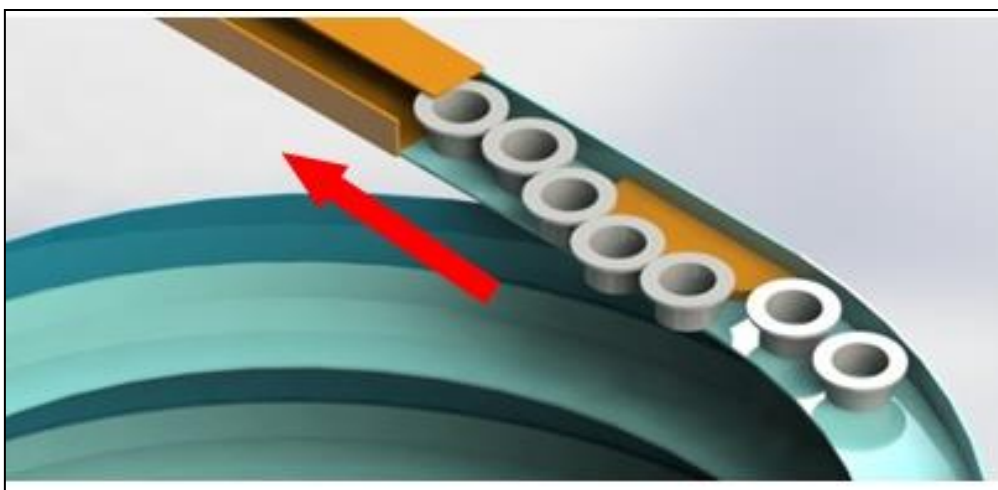


Figura 105 – Casquilhos redondos seguindo pela calha sem ser eliminados.

Ainda relativamente aos sistemas de eliminação/reaproveitamento de acessórios mal posicionados, existe uma peça que possui a função de eliminar peças sobrepostas, como se pode observar na Figura 106.

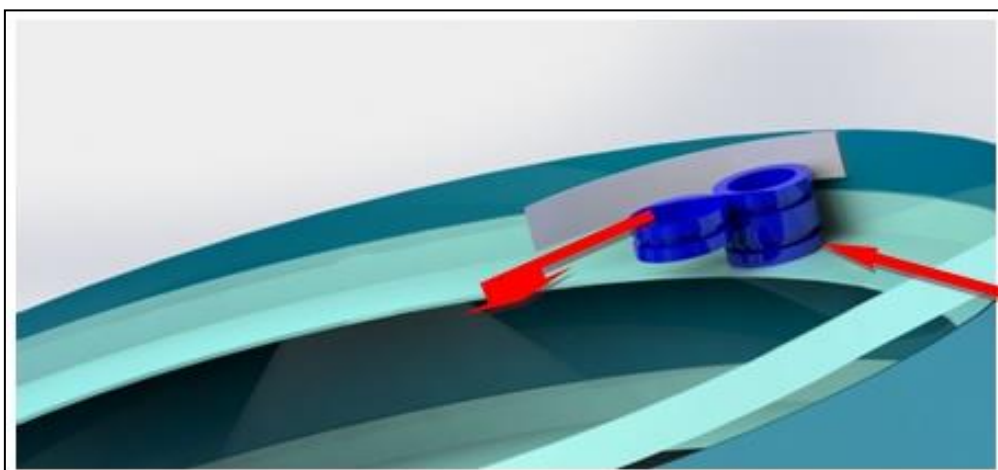


Figura 106 – Sistema de eliminação para peças sobrepostas.

Após os acessórios passarem por todos os fatores de eliminação, entrarão numa calha, que tem vindo a ser designada por "calha final". Esta calha possui um sistema de retenção de peças no

final da mesma, para que as peças não caiam para cima da mesa de trabalho. Este sistema (Figura 107) consiste em duas pinças montadas lateralmente à calha final. As suas dimensões são bastante reduzidas para que o seu movimento não se oponha nem bloqueie a passagem dos acessórios.

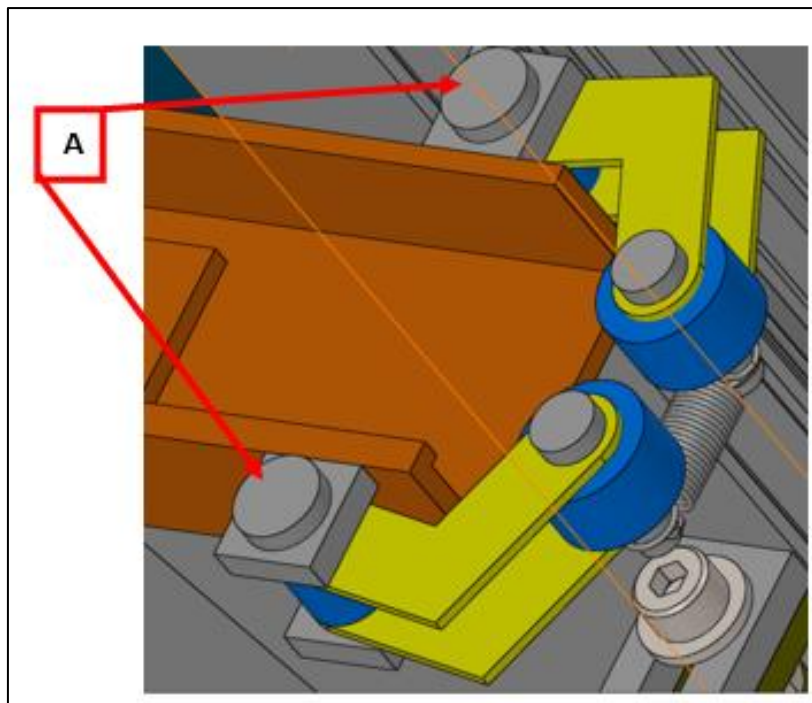


Figura 107 – Sistema de retenção de acessórios.

Como se pode observar na Figura 107 as pinças podem girar em torno das cavilhas "A" e as peças passam pelos rolos interiores. De modo a fechar as pinças, aplicou-se uma mola com uma constante de rigidez consideravelmente baixa, para não oferecer resistência à passagem dos acessórios.

Como se sabe, a vibração imposta pela mesa vibratória irá criar um efeito de centrifugação, que fará com que os acessórios se dirijam para a periferia do recipiente. Todavia, ao chegar à calha final, o efeito de centrifugação criado pela mesa vibratória não influenciará o deslocamento dos acessórios que se encontram no interior da calha. O seu movimento seria, então, criado pelo contacto entre acessórios, o que faria com que as borrachas se "empurrassem" umas às outras, causando falhas e defeitos no sistema produtivo.

Assim sendo, para evitar situações indesejáveis como estas, foi aplicada uma mesa de vibração linear (Figura 108), que fará com que os acessórios se movimentem ao longo desta calha, sem que atrasem o processo, uma vez que, com este sistema, os acessórios não necessitam do contacto de outros para se movimentarem.

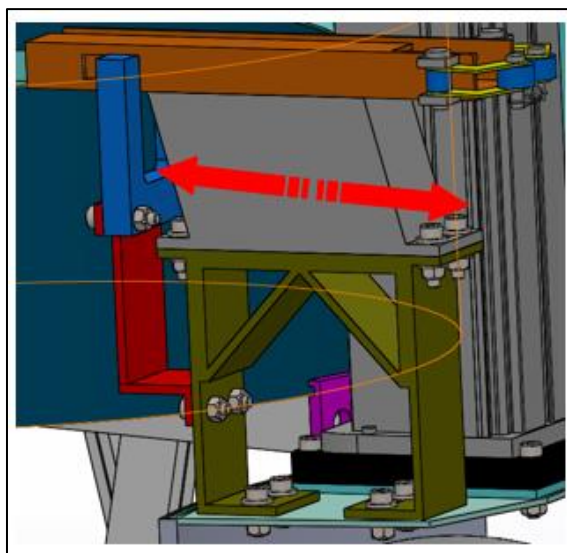


Figura 108 – Mesa de vibração linear.

Foram aplicados sensores, denominados *fork sensor* (Figura 109), com vista a controlar a quantidade de acessórios que são introduzidos nas carcaças e de modo a comunicar com os *hoppers*, para que estes vibrem durante determinado tempo para deixar cair acessórios, como já foi referido anteriormente.

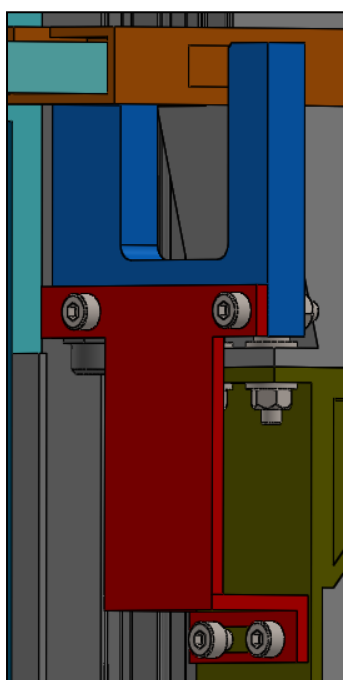


Figura 109 – Fork sensor.

Para além deste sensor, foram aplicados sensores de fibra ótica (Figura 110), para que comunicassem com os *pick-and-place* de modo a evitar movimentos desnecessários, ou seja, o *pick-and-place* apenas executará o respetivo movimento quando o sinal emitido pelos sensores de fibra ótica for interrompido.

Mais uma vez se pode verificar a importância da calibração de vibração dos alimentadores, de forma a evitar paragens desnecessárias, falta de acessórios nas calhas ou excesso dos mesmos.

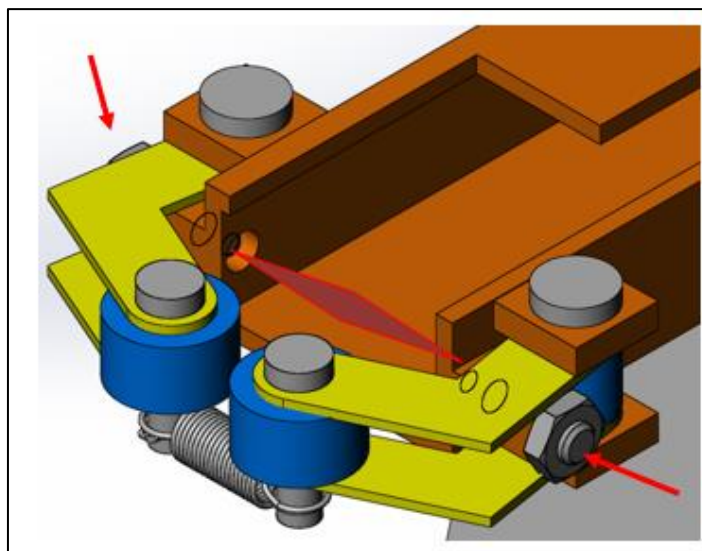
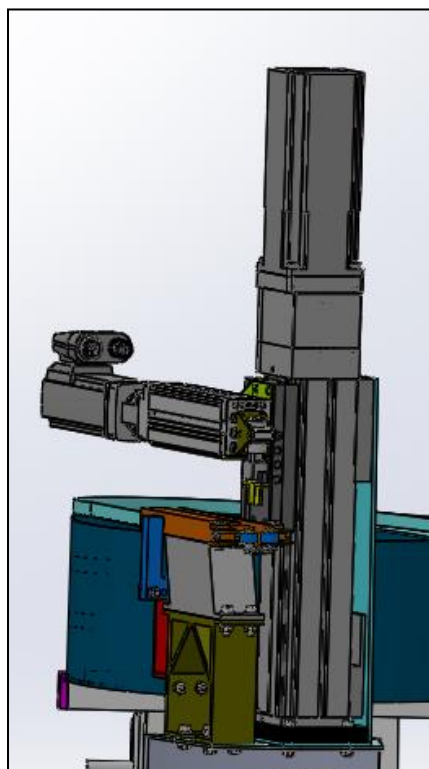


Figura 110 – Sensores fibra ótica.

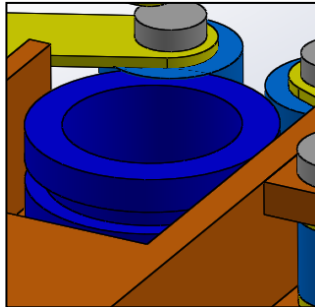
Por fim, resta explicar o funcionamento dos *pick-and-place*: estes são todos iguais, independentemente do posto em que se encontram a trabalhar; a única diferença que existe entre os do Posto 1 e os do Posto 2 são os movimentos que estes terão de fazer, para poderem introduzir os acessórios nas carcaças.

Todos os sistemas que constituem os *pick-and-place* (Figura 111) são comandados eletronicamente, de maneira a evitar a presença da mão-de-obra durante o *setup* do equipamento, como será explicado de seguida.

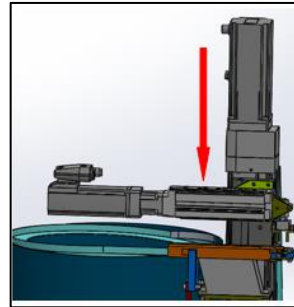
Figura 111 – *Pick-and-place*.

Nas Tabelas 14 e 15 serão apresentadas as sequências de movimentos dos *pick-and-place*.

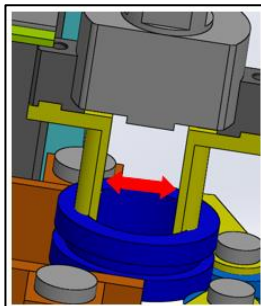
Tabela 14 – Movimentos do *pick-and-place* no Posto 1.



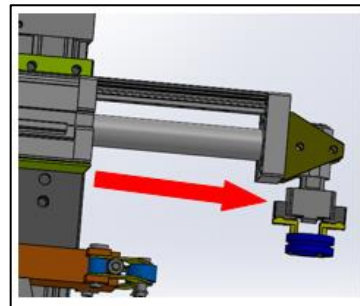
1. Leitura do acessório.



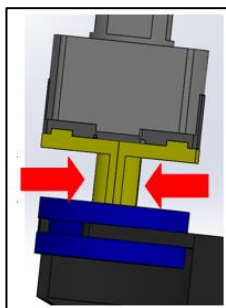
2. *Pick-and-place* desce.



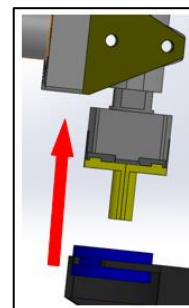
3. Mini garra abre.



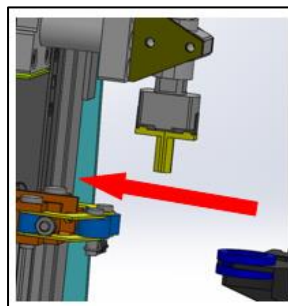
4. Expansão do *pick-and-place* com inserção de borracha.



5. Fecho das Mini-garras.

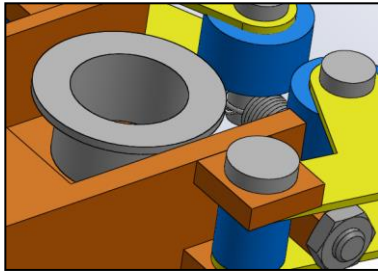


6. *Pick-and-place* sobe.

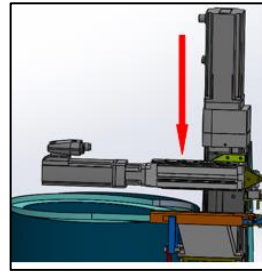
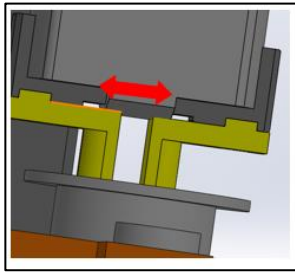


7. *Pick-and-place* retrocede.

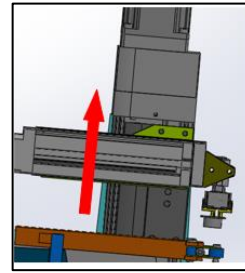
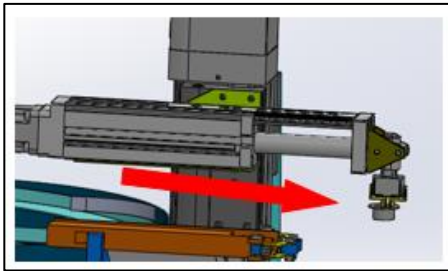
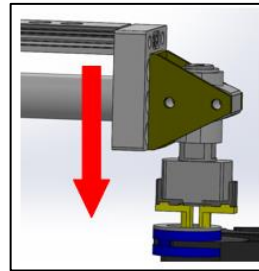
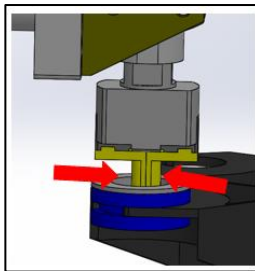
Fim do ciclo. Volta à etapa 1.

Tabela 15 – Movimentos do *pick-and-place* no Posto 2.

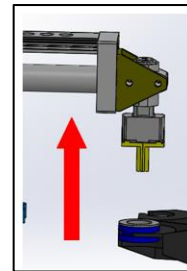
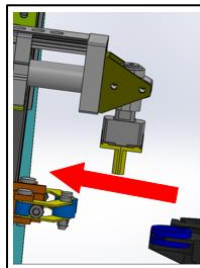
1. Leitura do acessório.

2. *Pick-and-place* desce.

3. Mini garra abre.

4. *Pick-and-place* sobe.5. Expansão do *pick-and-place*.6. *Pick-and-place* desce com inserção do casquilho.

7. Fecho das Mini garras.

8. *Pick-and-place* sobe.9. *Pick-and-place* encolhe.

Fim do ciclo. Volta à etapa 1.

3.6.2.6 Posto 3

O Posto 3 diz respeito à inspeção visual das carcaças, cuja função é verificar a conformidade da montagem dos acessórios. A solução passou por aplicar uma câmara de inspeção visual (Figura 112): ao analisar a carcaça e a respetiva montagem efetuada, a câmara irá compará-la com uma imagem de uma carcaça montada corretamente (introduzida na base de dados). Este posto necessita de ser protegido com placas escuras, de modo a bloquear a passagem da luz emitida pela câmara, caso exista um défice de luminosidade.

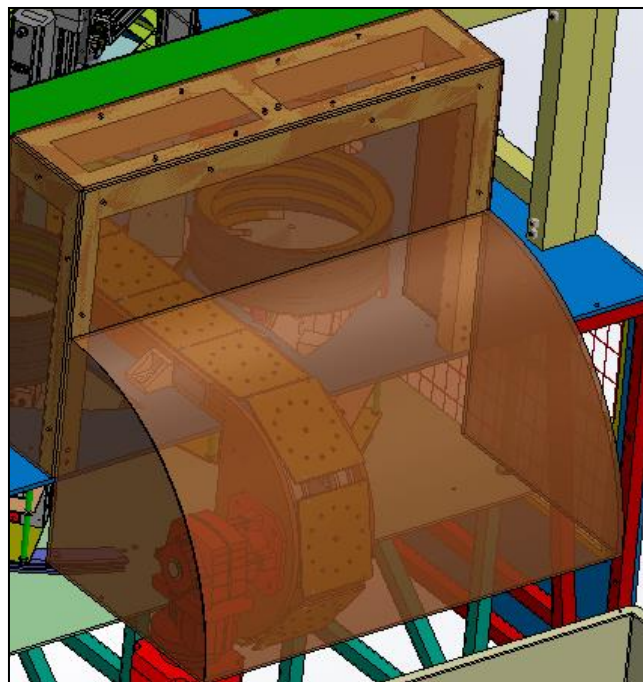


Figura 112 – Posto 3 – Inspeção visual.

Com esta aplicação, a análise da montagem será bastante rápida, evitando demoras durante a comparação entre a mesma e a imagem de referência.

O depósito das peças é feito com recurso à gravidade para dentro de um caixote situado no final da produção, ou seja, após passar pela inspeção, quando for a dar a volta à mesa, a peça irá cair para dentro desse caixote. Todavia, poderá ocorrer uma das seguintes situações:

- Falhar 5 peças seguidas;
- Falhar 10 peças em 30 segundos.

Caso ocorra uma destas situações, o equipamento irá parar a produção, emitindo um sinal luminoso e sonoro, de modo a informar o responsável da máquina que algo de anormal se passou com o funcionamento da máquina, com calibração/reposição do Posto 1 ou Posto 2 ou com o cilindro rotativo para posicionar os gabaritos. Estas mesmas informações são todas elas apresentadas no *display* do equipamento.

3.6.2.7 Sistema de configuração do equipamento

O quadro elétrico (Figura 113), para além de servir de arrumo para todos os componentes eletrónicos, tem colocado, na sua porta, o *display* e todos os sistemas de comando que possibilitam controlar o equipamento.

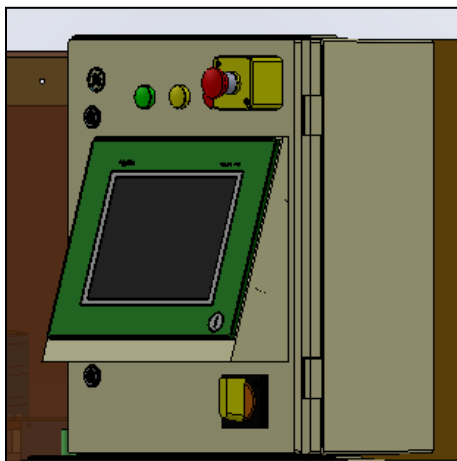


Figura 113 – Quadro elétrico.

Após ligar o equipamento, o *touch screen* ligar-se-á apresentando toda a informação, desde os posicionamentos do Posto 1 e Posto 2, à passadeira indexada, ao cilindro rotativo, às atualizações, ao histórico, à quantidade de peças produzidas e aos erros, entre outros.

Após completa a ligação do *display*, aparecem as informações e opções, que são apresentadas na Figura 114.



Figura 114 – Menu principal do *display* de controlo.

No menu principal pode-se alterar o idioma do equipamento e serão apresentadas a hora e a data atuais.

Ao carregar no botão "Configurações", irá ser apresentado o menu que pode ser observado na Figura 115. Neste menu, ao selecionar qualquer uma das opções, irá ser apresentado o respetivo posto e a possibilidade de o manusear, na necessidade de remover algum alimentador ou proceder à sua manutenção, de modo a colocar os alimentadores numa posição de mais fácil acesso (Figuras 115, 116 e 117).

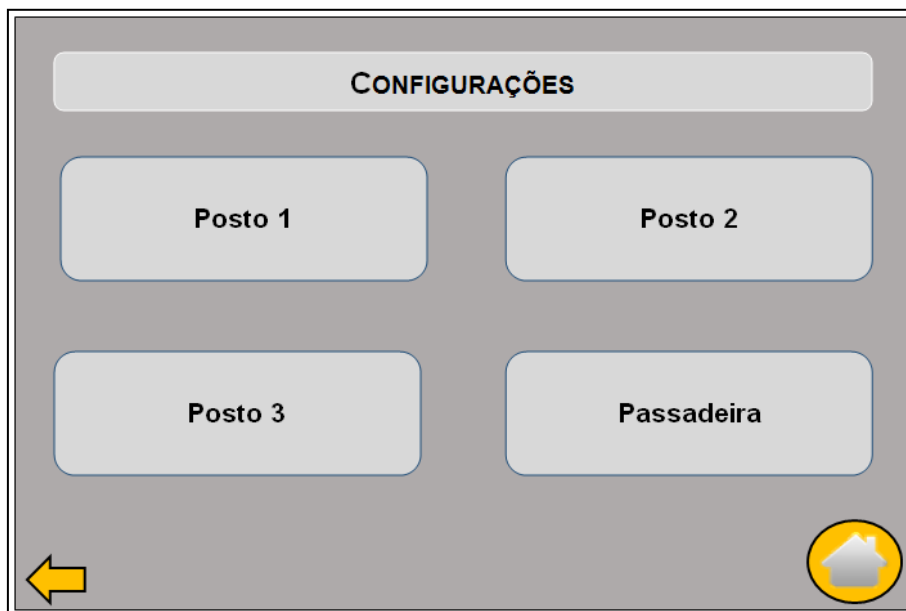


Figura 115 – Menu de configurações do *display* de controlo.

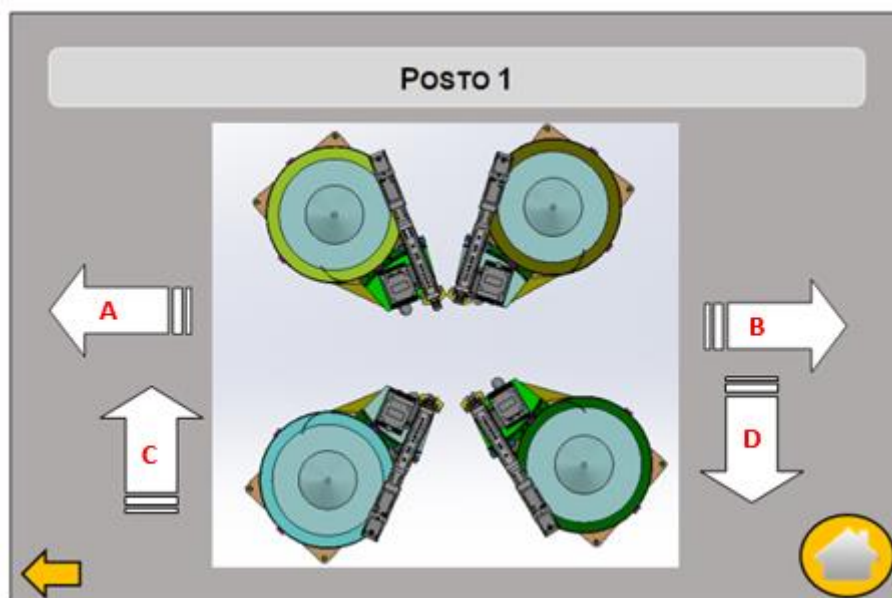


Figura 116 – Menu Posto 1 do *display* de controlo.

É apenas necessário clicar no alimentador que se deseja mover, ficando este marcado a vermelho. Por sua vez, as setas mudam de cor, sendo possível utilizá-las para fazer mover os alimentadores angular (setas A e B) e verticalmente (setas C e D).

Este tipo de apresentação e controlo é igual tanto no Posto 1 como no Posto 2. No Posto 3 (Figura 117), existe a opção de fazer o *Upload* da imagem de comparação.



Figura 117 – Menu Posto 3 do *display* de controlo.



Figura 118 – Menu Passadeira do *display* de controlo.

No caso da passadeira, este menu possui duas setas, de modo a fazer movimentar e girar as paletes no sentido desejado (Figura 118). Caso o cilindro elétrico avarie e seja necessário posicionar os gabaritos manualmente, basta clicar no botão automático para pôr a passadeira a girar no sentido normal de produção.

Pressionando o botão "Atualizações", irá ser apresentado o menu da Figura 119. Neste menu, é possível verificar todas as atualizações que foram realizadas ao programa que controla este equipamento. Porém, caso se pretenda acrescentar algum tipo de informação nova, como por exemplo a introdução de novas referências, é necessário atualizar o programa para a versão

mais completa, à exceção do *upload* das imagens de comparação, que é realizado no menu do Posto 3. Para tal, basta conectar o dispositivo móvel (computador ou uma *flash drive*) na tomada do *display*.



Figura 119 – Exemplo do menu de atualizações do *display* de controlo.

No botão "Histórico" (Figura 120), serão apresentadas todas as referências que foram produzidas, bem como as respetivas datas e tempos de produção, as quantidades produzidas e as quantidades de acessórios utilizados. Em suma, serão apresentados todos os dados de produção relativos à referência pesquisada.

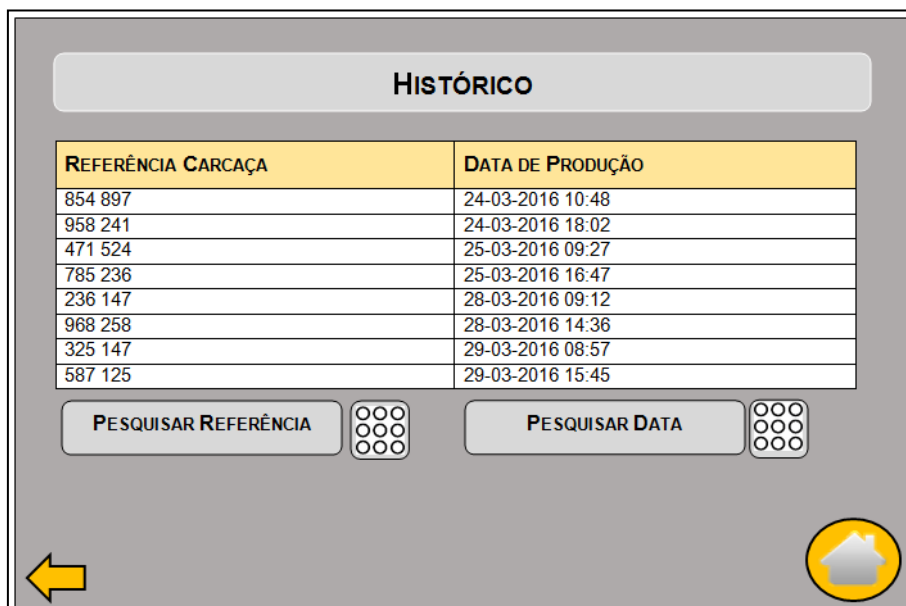


Figura 120 – Exemplo do menu Histórico do *display* de controlo.

Por fim, no botão iniciar, aparecerão todos os passos respetivos ao posicionamento automático do Posto 1, Posto 2 e gabaritos (Figura 121). Para proceder ao posicionamento, basta introduzir

a referência que se pretende produzir e aguardar que o equipamento se auto posicione (Figura 122).

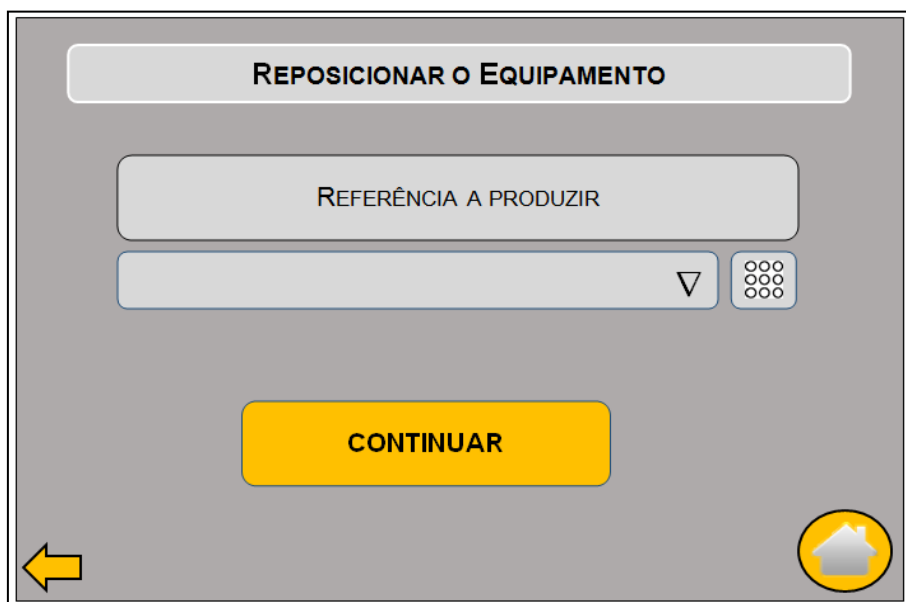


Figura 121 – Menu para reposicionar equipamento do *display* de controlo.

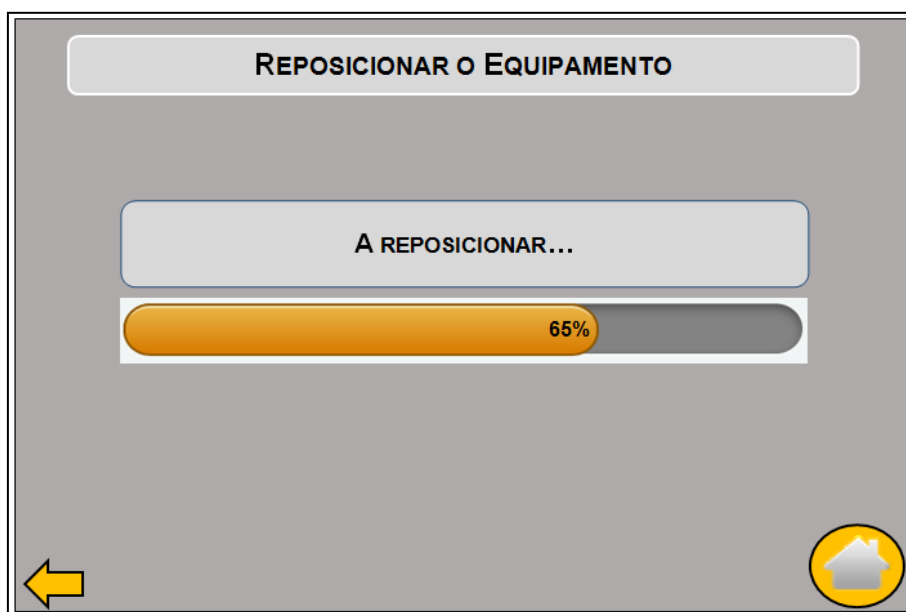


Figura 122 – Menu apresentado no *display* de controlo, durante o reposicionamento do equipamento.

Quando o posicionamento terminar, aparecerá a imagem apresentada de seguida (Figura 123). Mal a barra atingisse os 100%, poderia aparecer de imediato o menu de fabricar; contudo, esta opção de validar permite que haja alguma margem de tempo caso apareça uma alteração de produção de última hora.

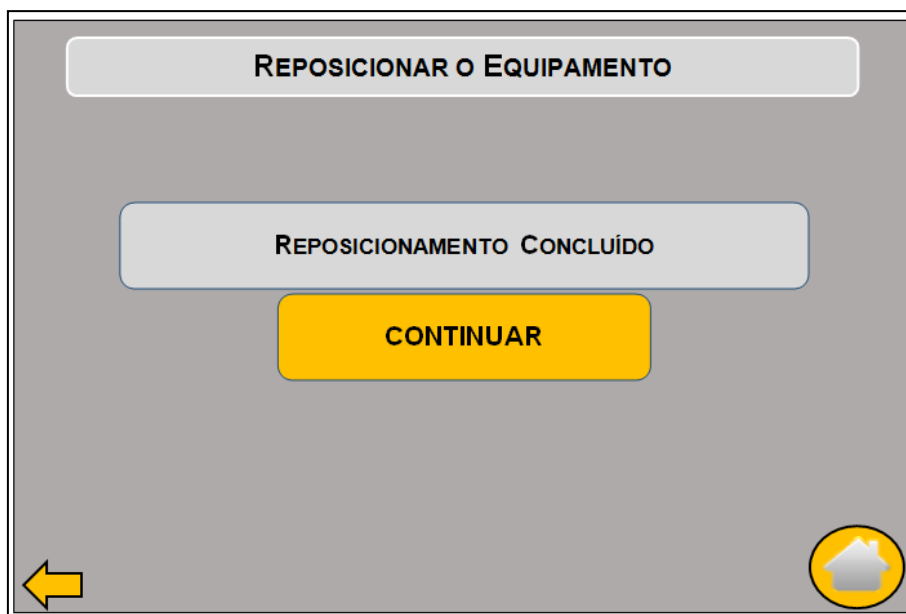


Figura 123 – Menu intercalar de reposicionamento concluído do *display* de controlo.

Após pressionar o botão “Continuar”, aparecerá o menu de produção com todas os dados relativos à produção (Figura 124).



Figura 124 – Menu de produção do *display* de controlo.

Neste menu, serão apresentados os seguintes dados de produção:

- Quantidade de acessórios (borrachas e casquilhos) utilizados;
- Quantidade de peças produzidas;
- Quantidade de peças não conformes – com isto, o responsável da máquina consegue ter a noção se algo de errado se está a passar com o equipamento, controlando melhor a produção;
- Tempo de produção.

Este menu possui três botões, de modo a controlar melhor o equipamento, sendo eles:

- **Pausar** – Para temporariamente o funcionamento do equipamento. Esta opção deverá ser acionada caso seja necessário efetuar alguma verificação dentro do equipamento, sendo para isso necessário abrir uma janela, ou até em caso de o operário precisar de se ausentar durante algum tempo, ficando longe do equipamento. Quando este pausar o equipamento, todo o processo fica em memória e, para continuar, basta clicar no botão “Reiniciar”;
- **Parar** – Este botão tem a finalidade de cancelar todo o processo. A partir do momento em que este botão é pressionado, todo o processo para, acabando apenas de construir todas as carcaças que se encontram no gabarito. De modo a verificar a não existência de carcaças, o Posto 3 ficará encarregue de verificar a presença (ou não) das mesmas na passadeira. Quando não existirem carcaças na passadeira, o programa abrirá a janela do Menu Principal;
- **Reiniciar** – Retoma o ciclo caso se pressione o botão "Pausar".

O *display* irá também apresentar informações sobre alguma anomalia no funcionamento da máquina, caso o Posto 3 verifique as condições indicadas no ponto 3.6.2.6 ou caso alguma das janelas se encontre aberta (Figura 125).

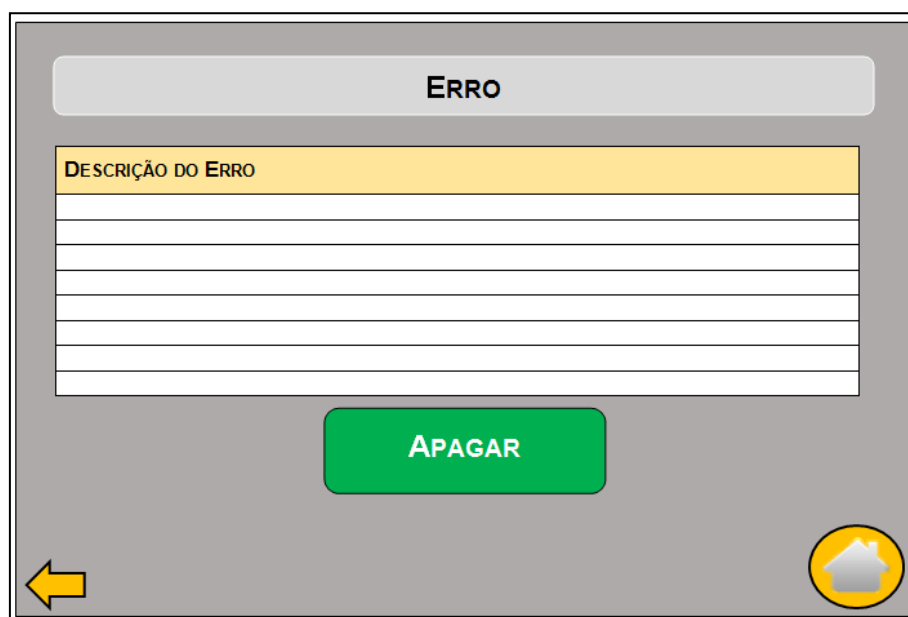


Figura 125 – Menu Erro do *display* de controlo.

Se os erros forem de origem mecânica, ou seja, se algum componente estiver possivelmente avariado, o erro só será apagado quando a situação estiver normalizada. Ainda assim, o equipamento pode funcionar, só que a produção será toda recusada. Enquanto existirem erros presentes, aparecerá um botão no Menu Principal a informar a presença desses erros e o botão “Iniciar” ficará a laranja, de modo a alertar que não deve nem pode ser iniciado nenhum tipo de

produção (Figura 126). Quando a situação ficar regularizada, o botão “Iniciar” ficará novamente verde e o botão de informação de erro deixará de estar ativo.



Figura 126 – Menu Principal com botão Erro do *display* de controlo.

Por fim, caso o Posto 3 verifique algumas das suas condições relativamente a carcaças não conformes, o menu “Erro” será exibido no *display* com um novo botão, que permite fazer um *check-up* ao equipamento, de modo a verificar alguma anomalia relativa ao posicionamento dos alimentadores (Figura 127).

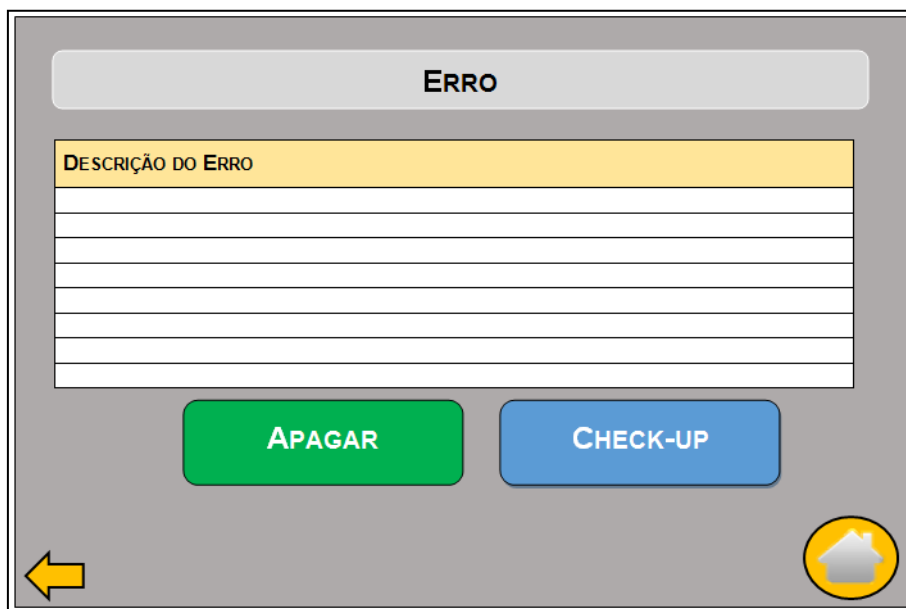


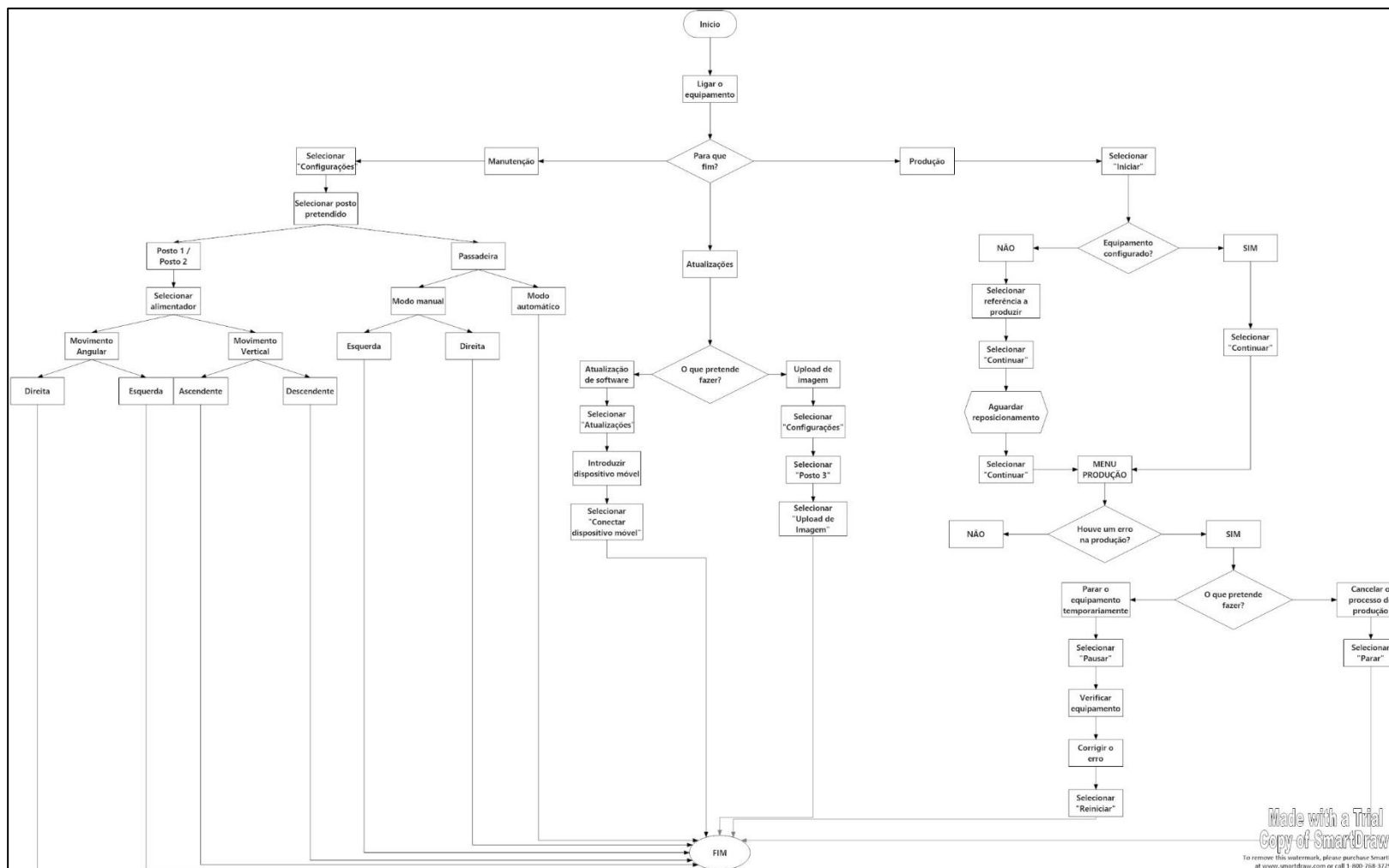
Figura 127 – Menu Erro com botão de *Check-up* do *display* de controlo.

Como se pode verificar, todos os menus possuem dois botões em comum: o botão à esquerda, com forma de seta, que serve para retroceder para o menu anterior, e o botão à direita, que serve para voltar automaticamente ao Menu Principal.

Por fim, o equipamento estará dotado de dois botões de emergência, de modo a parar o equipamento instantaneamente. Estes dois botões foram montados em dois locais: um no quadro elétrico e outro no lado oposto a este.

Em caso de alteração de modelos de carcaças, basta clicar no botão “Parar” e aguardar que o equipamento verifique a não existência de carcaças, como foi referido anteriormente. Quando este parar, basta retomar os passos desde o início a partir do Menu Principal, pressionando o botão “Iniciar”.

3.6.2.8 Fluxograma – Explicação do funcionamento do equipamento



Made with a Trial
Copy of SmartDraw
To remove this watermark, please purchase SmartDraw
at www.smartdraw.com or call 1-800-768-3729

PÁGINA DEIXADA EM BRANCO INTENCIONALMENTE

3.6.3 Justificação das soluções adotadas

Ao longo de todo o tópico 3.6.2, durante a caracterização de cada subconjunto, foi necessário, por vezes, justificar as soluções adotadas, para que essa mesma explicação fizesse sentido e a sua leitura se tornasse lógica. Contudo, ao longo deste tópico, serão explicadas e justificadas todas as soluções que foram aplicadas no desenvolvimento deste equipamento.

Relativamente ao método utilizado para o posicionamento dos alimentadores vibratórios, que compõem o Posto 1 e o Posto 2, este recaiu sobre um servomotor com freio da FESTO. Deste modo, garante-se o perfeito alinhamento, pois o controlo do servomotor é feito através de um programa pré-concebido para o efeito, que promove um maior rigor que a operação manual. Após os alimentadores atingirem a posição desejada, deverão permanecer nessas mesmas coordenadas durante o tempo desejado para o fabrico de uma determinada referência. Assim sendo, era necessário um sistema que o mantivesse no mesmo local durante esse tempo; então, optou-se por um servomotor com freio, que faz com que este não rode, a não ser que assim seja imposto.

Continuando a mesma linha de pensamento, a passadeira indexada também necessita de um servomotor, pois, como já foi explanado, é necessário controlar o tempo que a passadeira vai funcionar, bem como o intervalo que esta deve estar parada, para que os *pick-and-place* procedam à introdução de acessórios e, ainda, o deslocamento entre paletes, para que o centro destas coincida com o centro do Posto 1 e do Posto 2 em simultâneo.

No caso do cilindro rotativo, apesar de o controlo de rotação ser automático, este é também controlado por um servomotor, para facilitar a sua rotação, bem como conhecer a posição em que o gabarito se encontra e qual a posição para a qual este deve rodar. Contudo, o cilindro de elevação que faz levantar os gabaritos trata-se de um cilindro pneumático, uma vez que apenas a rotação dos gabaritos deve ser controlada eletronicamente. No caso deste cilindro, este deve expandir o máximo para que os pinos do gabarito consigam libertar a paleta e este rode livremente. Quando já se encontrar na posição desejada, o cilindro deve retroceder também na totalidade. Assim sendo, o cilindro pneumático deve ser de duplo efeito.

No caso dos *pick-and-place*, todos os seus componentes são eletrónicos, à exceção da mini-garra, pois esta, tal como o cilindro de elevação dos gabaritos, deverá abrir ao máximo, para que os mordentes aplicados façam força no furo dos acessórios, obrigando as borrachas a dilatar, facilitando a sua introdução nas carcaças. No caso dos casquilhos metálicos, a mini-garra empurrará os casquilhos, de modo a que estes sejam introduzidos nas borrachas anteriormente colocadas. Relativamente aos outros componentes que compõem o *pick-and-place*, optou-se

por eixos e cilindros controlados eletronicamente através de um servomotor. Deste modo, todos os deslocamentos realizados por estes componentes não necessitam de sensores tipo fim-de-curso, o que faz com que o *setup* do equipamento seja bastante mais rápido. Caso se utilizassem cilindros e eixos pneumáticos, iriam ser necessários sensores fim-de-curso e a sua posição não seria tão rigorosa, quando comparado aos deslocamentos realizados por componentes (eixos e cilindros) controlados através de servomotores.

Quanto aos sensores utilizados, os fabricantes de alimentadores vibratórios aconselham a utilização de *fork sensors* para que o volume de acessórios seja rigorosamente controlado. No caso dos sensores de fibra ótica, estes foram aplicados para evitar situações como a realização de movimentos desnecessários – isto, ao acontecer, iria estar a desperdiçar energia e, quando um acessório atingisse a posição do sensor, poderia ter de esperar que o *pick-and-place* acabasse o ciclo, atrasando todo o processo. Para além disso, sem estes sensores, nunca se saberia se tinham sido introduzidos os acessórios, ou seja, poderia acontecer que a carcaça seguisse para o Posto 2 sem possuir borrachas ou falhar algumas. Com esta aplicação, fica garantido que a carcaça passa para o posto seguinte sempre dentro da conformidade – salva-se a exceção de alguma anomalia técnica, como o sensor avariado, o mau posicionamento dos alimentadores e/ou carcaças, ou até mesmo algum problema no alimentador vibratório.

3.6.3.1 Processos de fabrico

Sempre que possível, durante o desenvolvimento do projeto, utilizaram-se materiais, acessórios e equipamentos normalizados, de forma a reduzir o tempo gasto na sua fabricação. Contudo, esta regra não pode ser sempre aplicada, pelo que existem componentes com geometrias complicadas que terão que ser fabricados.

Relativamente à escolha dos materiais, estiveram sempre presentes parâmetros como a finalidade dos componentes utilizados, os coeficientes de atrito, o tipo de solicitações e as forças impostas. Assim sendo, destacaram-se os seguintes materiais:

- Aço S235 JR – Utilizado em todos os elementos estruturais, de forma a reduzir o preço e a facilitar a sua aquisição. Note-se que todos os elementos compostos por este material deverão passar por uma galvanização, de maneira a ficarem protegidos contra ataques exteriores, como a oxidação e corrosão. Para além disso, ainda é necessário pintar estes mesmos componentes;
- Tubo galvanizado – Este tipo de tubo foi utilizado para construir todas as estruturas metálicas, de forma a conferir mais rigidez e estabilidade à estrutura;

- Poliamida 6.6 – A poliamida 6.6 foi utilizada em peças que necessitam ser consideravelmente mais leves, visto a sua aplicação ter inúmeras vantagens quando comparada ao aço, tendo sido o peso um fator de elevada importância;
- AISI 304 L – A aplicação do aço inoxidável deve-se à necessidade de haver baixos coeficientes de atrito, redução de peso e prevenção contra a oxidação;
- Polimetacrilato de Metilo – Utilizado para fazer as proteções do equipamento, como laterais e janelas, facultando uma visão perfeita do que se está a passar no equipamento.

3.6.3.2 Sequência de montagem

É recomendável que todos os postos sejam montados pela ordem apresentada na Tabela 16, de modo a evitar complicações e atrasos no processo de montagem. Para se entender mais facilmente a sequência de montagem, no Anexo II é possível encontrar todos os desenhos de pormenor e desenhos de montagem (vista explodida), tal como já foi dito anteriormente.

Tabela 16 – Sequência de montagem.

Sequência de montagem	
1. Mesa de trabalho	7. Proteção superior
2. Cremalheiras, guias curvas, calços curvos	8. Fios elétricos para os sensores e iluminação
3. Passadeira	9. Posto 3
4. Posto 1 e Posto 2	10. Quadros elétrico e pneumático
5. Cabos, fios elétricos e tubagens de ar	11. <i>Hoppers</i>
6. Grelhas de proteção (Mesa)	

3.6.3.3 Justificação das soluções adotadas para os acionamentos

Durante este capítulo, serão apresentadas todas as soluções aplicadas relativamente aos acionamentos. De modo a evitar a utilização de sensores fim-de-curso, como já foi dito anteriormente, aplicaram-se eixos e cilindros elétricos de maneira a controlar os movimentos dos *pick-and-place* de uma forma mais precisa.

Na Figura 128, é apresentada a divisão dos equipamentos e a numeração de todos os alimentadores, atribuindo-lhes uma ordem, para o leitor entender os códigos atribuídos (sendo o Posto 1 denominado P1 e o Posto 2 denominado P2).

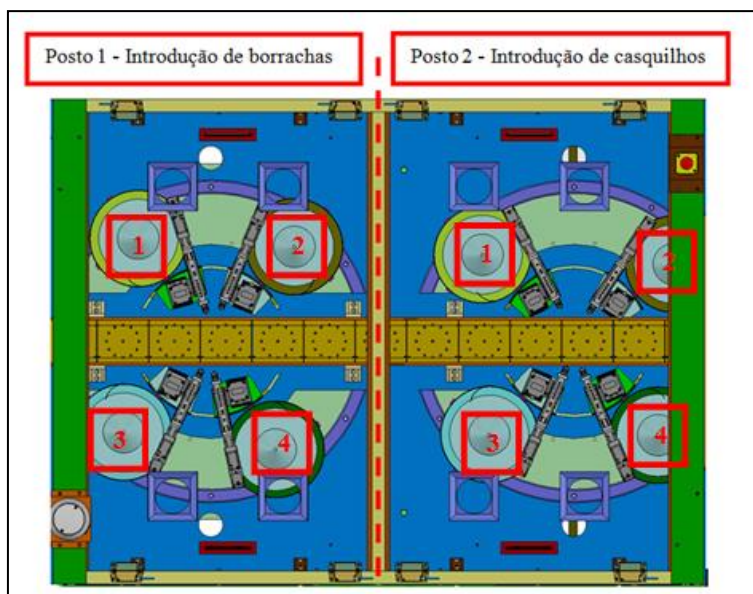


Figura 128 – Posto 1 - P1/Posto 2 - P2.

Observe-se o seguinte exemplo (Tabela 17) para entender a designação do código para cada componente.

Tabela 17 – Tabela exemplo.

Código	Componente	Ação	Sensor
P.1_AV.1	Servomotor.1.1	Posicionar AV.1.1	SM.1.1

P.1 - Posto - 1	SM- Servomotor	Posicionar	SM.1.1
AV.1	AV.1	AV.1	AV.1
Alimentador vibratório - 1	Posto - 1	Posto - 1	Posto - 1

Nas Tabelas seguintes (18, 19 e 20), estão listados os códigos e as ações de todos os acionadores de leitura e limitação de movimentos. Estes seguem a mesma sequência lógica da apresentada nas Tabelas 14 e 15.

Apesar de os códigos aparecerem separados, é importante referir, mais uma vez, que todos os *pick-and-place* funcionam ao mesmo tempo, de maneira a reduzir o tempo de fabrico para poder atingir o patamar imposto pela empresa de 1000 peças/hora, salvo se a carcaça possuir ângulos de entrada agudos que não permitam a introdução em simultâneo dos acessórios. Nesse caso, o movimento dos *pick-and-place* terá de ser alternado, o que poderá ter efeito, ou não, no tempo de montagem dos componentes.

No Anexo III pode-se encontrar todos os documentos relativos ao *fork sensor* e ao sensor de fibra ótica.

3.6.3.3.1 Posto 1

Na Tabela 18 pode-se encontrar a identificação de todos os componentes, ações e sensores responsáveis pelos movimentos associados ao Posto 1 – Introdução de borrachas.

Tabela 18 – Identificação dos acionadores e sensores relativos ao Posto 1.

Código	Componente	Ação	Sensor
P.1_AV.1	Servomotor.1.1	Posicionar AV.1.1	SM.1.1
	Eixo_1.1	Desce	SME.1.1
	Garra_1.1	Abre	---
	Cil_1.1	Avança	SMC.1.1
	Garra_1.1	Fecha	--
	Eixo_1.1	Sobe	SME.1.1
	Cil_1.1	Recua	SMC.1.1
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FM.1.1
	Fibra ótica	Medição	SO.1.1
P.1_AV.2	Servomotor.2.1	Posicionar AV.2.1	SM.2.1
	Eixo_2.1	Desce	SME.2.1
	Garra_2.1	Abre	---
	Cil_2.1	Avança	SMC.2.1
	Garra_2.1	Fecha	--
	Eixo_2.1	Sobe	SME.2.1
	Cil_2.1	Recua	SMC.2.1
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.2.1
	Fibra ótica	Medição	SO.2.1
P.1_AV.3	Servomotor.3.1	Posicionar AV.3.1	SM.3.1
	Eixo_3.1	Desce	SME.3.1
	Garra_3.1	Abre	---
	Cil_3.1	Avança	SMC.3.1
	Garra_3.1	Fecha	--
	Eixo_3.1	Sobe	SME.3.1
	Cil_3.1	Recua	SMC.3.1
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.3.1
	Fibra ótica	Medição	SO.3.1

Código	Componente	Ação	Sensor
P.1_AV.4	Servomotor.4.1	Posicionar AV.4.1	SM.4.1
	Eixo_4.1	Desce	SME.4.1
	Garra_4.1	Abre	---
	Cil_4.1	Avança	SMC.4.1
	Garra_4.1	Fecha	--
	Eixo_4.1	Sobe	SME.4.1
	Cil_4.1	Recua	SMC.4.1
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.4.1
	Fibra ótica	Medição	SO.4.1

Para consolidar todas as justificações dos acionamentos selecionados e os respectivos movimentos apresentados na Tabela 18, deve-se consultar a Tabela 33 onde são apresentados os tempos de cada movimento dos *pick-and-place* do Posto 1 – Introdução de borrachas.

3.6.3.3.2 Posto 2

Na Tabela 19 pode-se encontrar a identificação de todos os componentes, ações e sensores responsáveis pelos movimentos associados ao Posto 2 – Introdução de casquilhos.

Tabela 19 – Identificação dos acionadores e sensores relativos ao Posto 2.

Código	Componente	Ação	Sensor
P.2_AV.1	Servomotor.1.2	Posicionar AV.1.2	SM.1.2
	Eixo_1.2	Desce	SME.1.2
	Garra_1.2	Abre	---
	Eixo_1.2	Sobe	SME.1.2
	Cil_1.2	Avança	SMC.1.2
	Eixo_1.2	Desce	SME.1.2
	Garra_1.2	Fecha	---
	Eixo_1.2	Sobe	SME.1.2
	Cil_1.2	Recua	SMC.1.2
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.1.2
	Fibra ótica	Medição	SO.1.2
P2.AV.2	Servomotor.2.2	Posicionar AV.2.2	SM.2.2
	Eixo_2.2	Desce	SME.2.2
	Garra_2.2	Abre	---
	Eixo_2.2	Sobe	SME.2.2
	Cil_2.2	Avança	SMC.2.2
	Eixo_2.2	Desce	SME.2.2
	Garra_2.2	Fecha	---
	Eixo_2.2	Sobe	SME.2.2
	Cil_2.2	Recua	SMC.2.2
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.2.2
	Fibra ótica	Medição	SO.3.2

Código	Componente	Ação	Sensor
P.2_AV.3	Servomotor.3.2	Posicionar AV.3.2	SM.3.2
	Eixo_3.2	Desce	SME.3.2
	Garra_3.2	Abre	---
	Eixo_3.2	Sobe	SME.3.2
	Cil_3.2	Avança	SMC.3.2
	Eixo_3.2	Desce	SME.3.2
	Garra_3.2	Fecha	---
	Eixo_3.2	Sobe	SME.3.2
	Cil_3.2	Recua	SMC.3.2
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.3.2
	Fibra ótica	Medição	SO.3.2
P.2_AV.4	Servomotor.4.2	Posicionar AV.4.2	SM.4.2
	Eixo_4.2	Desce	SME.4.2
	Garra_4.2	Abre	---
	Eixo_4.2	Sobe	SME.4.2
	Cil_4.2	Avança	SMC.4.2
	Eixo_4.2	Desce	SME.4.2
	Garra_4.2	Fecha	---
	Eixo_4.2	Sobe	SME.4.2
	Cil_4.2	Recua	SMC.4.2
	<i>Fork Sensor</i>	Contagem	FS.4.2
	Fibra ótica	Medição	SO.4.2

Para consolidar todas as justificações dos acionamentos selecionados e os respectivos movimentos apresentados na Tabela 19, deve-se consultar a Tabela 34, onde são apresentados os tempos de cada movimento dos *pick-and-place* do Posto 2 – Introdução de casquilhos.

3.6.3.3.3 Passadeira Indexada

Na Tabela 20 pode-se encontrar a identificação de todos os componentes, ações e sensores responsáveis pelos movimentos associados à passadeira indexada.

Tabela 20 – Identificação dos acionadores e sensores relativos à Passadeira Indexada.

Código	Componente	Ação	Sensor
PI.1	Passadeira	Girar	SMP.1
CR.1	Cil_Rotativo	Girar	SMCR.1

Para consolidar todas as justificações dos acionamentos selecionados e os respectivos movimentos apresentados na Tabela 20, deve-se consultar a Tabela 35, onde é apresentado o tempo de movimento da passadeira indexada.

3.6.3.4 Justificação das soluções adotadas para os posicionamentos

Ao longo deste capítulo, serão apresentadas as justificações que demonstram que todos os componentes escolhidos cumprem os requisitos impostos. De modo a reforçar as justificações apresentadas em seguida, encontram-se no Anexo IV todos os dados relativos aos componentes selecionados, fichas técnicas e simulações realizadas através de um programa fornecido pela FESTO - FESTO *Positioning Drives*.

3.6.3.4.1 Servomotor para passadeira indexada

Todas as equações apresentadas em seguida foram retiradas de um catálogo da Renold. Para verificar a escolha do servomotor, considerou-se a pior situação.

Através das equações seguintes será possível determinar a potência necessária para que o servomotor consiga pôr a passadeira a trabalhar.

$$C_p = 9,81 \times \mu_c [(2,05 \times W_c \times L) + W] \quad (N) \quad (1)$$

$$K = \frac{C_p \times V}{1000} \quad (kW) \quad (2)$$

Em que:

C_p – Força para puxar a corrente (N);

μ_c – Coeficiente de atrito;

L – Distância entre centros (m);

W_c – Peso total da corrente (kg/m);

W – Massa total carregada (kg);

V – Velocidade (m/s).

Na Figura 129 é apresentado o Diagrama de Corpo Livre (DCL) para que se possa entender como deverão ser feitas a distribuição e aplicação de forças.

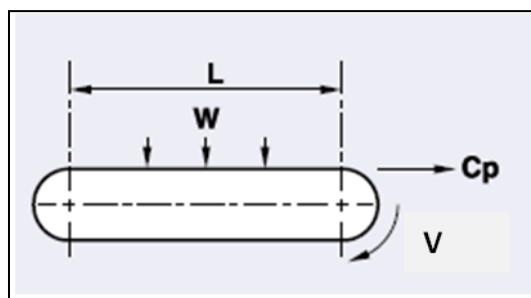


Figura 129 – Diagrama de Corpo Livre, fornecido pela Renold.

Resta agora determinar todos os fatores apresentados anteriormente. Assim sendo, tem-se:

- μ_c – Coeficiente de atrito

$$\mu_c = \frac{0,26 + (\mu_F \times d)}{D} + \frac{1,64}{D} \quad (3)$$

Em que:

μ_F – Coeficiente de fricção por deslizamento entre a corrente e os calços;

d – Diâmetro interior do elo da corrente (mm);

D – Diâmetro exterior do elo da corrente (mm).

Na Tabela 21 pode-se encontrar o valor para o coeficiente de fricção por deslizamento. Então, para retirar este valor, assumiu-se que a lubrificação da corrente será realizada regularmente.

Tabela 21 – Coeficiente de fricção por deslizamento (Adaptado de Renold).

Coeficiente de atrito - μ_c		
Lubrificação regular	Lubrificação ocasional	Sem lubrificação
$\mu_F = 0,15$	$\mu_F = 0,20$	$\mu_F = 0,25$

Na Tabela 22 pode-se encontrar um resumo de todos os dados importantes para que se consiga resolver a equação 3.

Tabela 22 – Resumo de todos os valores necessários para calcular a equação 3.

Lubrificação regular - μ_F	Diâmetro interior - d (mm)	Diâmetro exterior - D (mm)
0,15	5,08	10,16

Por fim, aplicando a equação 3, obtém-se:

$$\mu_c = \frac{0,26 + (0,15 \times 5,08)}{10,16} + \frac{1,64}{10,16} = 0,26 \quad (4)$$

- **L – Distância entre centros**

Na Figura 130 é possível observar a distância entre centros da passadeira indexada.

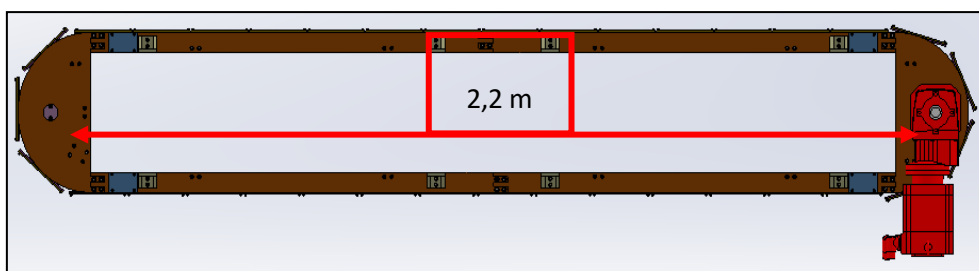


Figura 130 – Distância entre centros da passadeira indexada.

Através da análise da Figura 130, considerou-se $L=2,2$ m.

- **W_c – Peso total da corrente**

O peso por metro das correntes escolhidas pode ser observado na Figura 131.

Eurochain designation	DIN/ISO No.	mm	Pitch p Inches	mm	Inches	Innerwidth b ₁ min.	Roller diameter d ₁ max. (mm)	Pin diameter d ₂ max. (mm)	Pin length chain a ₁ (mm)	Pin length conn. link a (mm)	Plate height g (mm)	Inner link width b ₂ max. (mm)	Transverse pitch e (mm)	Breaking strength DIN min. (N)	Weight per meter (kg)	Article No.
EC-6-M GL	06 B-1	9,525	3/8	5,72	7/32	6,35	3,28	13,0	15,12	8,2	8,53	–	9.000	0,45	40000663	
EC-6-D GL	06 B-2	9,525	3/8	5,72	7/32	6,35	3,28	23,8	26,15	8,2	8,53	10,24	16.900	0,80	40002715	
EC-6-T GL	06 B-3	9,525	3/8	5,72	7/32	6,35	3,28	33,5	34,80	8,2	8,53	10,24	24.900	1,20	40002716	
EC-8-M GL	08 B-1	12,700	1/2	7,75	5/16	8,51	4,45	16,4	19,00	11,8	11,30	–	18.000	0,68	40000732	
EC-8-D GL	08 B-2	12,700	1/2	7,75	5/16	8,51	4,45	30,4	32,90	11,8	11,30	13,92	32.000	1,35	40000733	
EC-8-T GL	08 B-3	12,700	1/2	7,75	5/16	8,51	4,45	44,5	47,00	11,8	11,30	13,92	47.500	2,00	40000734	
EC-10-M GL	10 B-1	15,875	5/8	9,65	3/8	10,16	5,08	18,8	21,00	13,9	13,28	–	22.400	0,91	40000735	
EC-10-D GL	10 B-2	15,875	5/8	9,65	3/8	10,16	5,08	35,8	36,80	13,9	13,28	16,59	44.500	1,84	40000736	
EC-10-T GL	10 B-3	15,875	5/8	9,65	3/8	10,16	5,08	52,4	54,40	13,9	13,28	16,59	66.700	2,75	40000737	

Figura 131 – Propriedades das correntes EC-10M-GL (10-B-1) (eurochain.com).

Com isto, resta considerar $W_c = 0,95$ kg/m.

- **W – Massa total carregada**

Para facilitar tanto a determinação da massa total como para entender o seu valor, na Tabela 23 são apresentados todos os componentes que são considerados relevantes e que influenciam a massa da passadeira.

Tabela 23 – Determinação da massa dos componentes móveis da passadeira indexada.

Componente	Massa (kg)	Quantidade	$M_{t/c}$ - Massa total/componentes (kg)
Palete	0,110	35	3,850
Gabarito	0,290	35	10,150
Chapas de fixação	0,098	70	6,860
Cutelos em L para fixação	0,012	70	0,840
Carça⁸	0,200	18	3,600
Massa total – W			25,300

Devido à possível diferença entre pesos de componentes, como por exemplo parafusos, anilhas, porcas, aplicou-se um coeficiente de segurança de 1.5 para colmatar estas pequenas discrepâncias.

Então:

$$W = W \times c.s \quad (5)$$

Em que:

W – Massa total (kg);

c.s – Coeficiente de segurança.

Resolvendo a equação 5, obtém-se:

$$W = 25,3 \times 1,5 = 37,95 \text{ kg} \quad (6)$$

- **Velocidade**

Nesta situação, pretende-se que as paletes se desloquem sempre a mesma medida, de centro a centro, como já foi explicado anteriormente.

Então, a velocidade aplicável deverá ser: $V = 0,158 \text{ m/s}$, sendo que esta velocidade corresponde a cada passo da passadeira indexada.

⁸ O peso da carça foi majorado devido à diversidade de referências. Apesar de existirem trinta e cinco gabaritos, apenas dezoito carças se encontram em cima da passadeira quando o equipamento está a produzir.

Para que seja possível entender todas estas variáveis, é necessário representar o Diagrama de Corpo Livre da passadeira indexada (Figura 132).

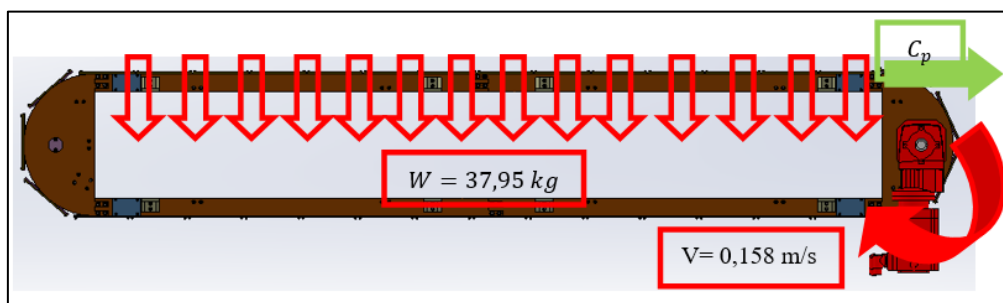


Figura 132 – Diagrama de Corpo Livre da passadeira indexada.

Na Tabela 24 é apresentado um resumo de todos os dados importantes para conseguir resolver a equação 1 e 2.

Tabela 24 – Resumo de todos os valores necessários para resolver a equação 1.

μ_c	L (m)	W_c (kg/m)	W (kg)	V (m/s)
0,26	2,2	0,91	37,95	0,158

Resolvendo a equação 1, obtém-se:

$$C_p = 9,81 \times 0,26 [(2,05 \times 0,91 \times 2,2) + 37,95] = 107,26 \text{ N} \quad (7)$$

$$K = \frac{107,26 \times 0,158}{1000} \approx 0,017 \text{ kW} \quad (8)$$

Convertendo K para o SI (Sistema Internacional), obtém-se:

$$K = 0,017 \text{ kW} = 17 \text{ W}$$

Na Tabela 25 pode-se verificar a conversão de kW para Nm, para que se possa comparar o valor determinado com o valor máximo do motor.

Tabela 25 – Tabela de conversão.

Torque (Nm)	rpm	Conversão (W)	Valor calculado K (W)
110	94	1082,8	17

Analisando a Tabela 25, rapidamente se percebe que o servomotor escolhido para aplicar na passadeira indexada cumpre os requisitos. Contudo, este terá de ser devidamente programado para cumprir com a velocidade imposta e com o tempo de paragem, para que seja possível introduzir os acessórios.

No Anexo IV.I, pode-se encontrar a ficha técnica relativa ao servomotor escolhido para aplicar na passadeira indexada.

3.6.3.4.2 Cilindro elétrico para introdução de acessórios

Para proceder à introdução dos acessórios – borrachas e casquilhos – escolheram-se, como já foi dito anteriormente, cilindros elétricos de maneira a conseguir controlar o seu movimento, evitando assim a aplicação de sensores fim-de-curso, caso se aplicasse atuadores pneumáticos. Optou-se, então, por aplicar atuadores da série EGSL (da marca FESTO) que, para além de serem cilindros controlados eletronicamente, fornecem uma elevada performance em espaços compactos, precisão e capacidade de carga.

Para verificar a aplicação destes cilindros, seguiu-se o manual da FESTO relativamente a este tipo de atuadores. Na Figura 133 pode-se observar a posição dos eixos cartesianos, para posteriormente determinar as forças exercidas, os momentos produzidos e compará-los com os valores Tabelados.

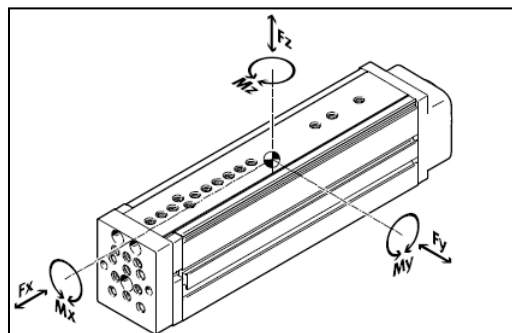


Figura 133 – Eixos cartesianos (festo.com).

A força necessária para introduzir uma borracha é dada pela seguinte equação:

$$F_{ib} = m_b \times g \quad (N) \quad (9)$$

Em que:

F_{ib} – Força de introdução de borrachas (N);

m_b – Massa borracha (kgf);

g – Aceleração gravítica (m/s^2).

Porém, como o procedimento de montagem atual é realizado manualmente, não existem dados sobre a força necessária para introduzir borrachas. Então, para que seja possível verificar o atuador escolhido, mediu-se a força necessária para introduzir um acessório de borracha com auxílio de uma balança vertical analógica. Porém, aplicou-se um c.s. (coeficiente de segurança) de 4, visto que se trata de uma medição pouco precisa e dada a dificuldade de medição. Na Tabela 26 pode-se verificar o valor da força necessária para introdução de borrachas, o coeficiente de segurança e o valor corrigido.

Tabela 26 – Valor medido para introduzir borrachas e respetiva correção.

Valor medido (kgf)	c.s.	Valor corrido (kgf)
1,5	4	6

Por fim, aplicando a equação 8, obtém-se:

$$F_{ib} = 6 \times 9,81 = 58,86 \text{ N} \quad (10)$$

São necessários 58,86 N para que uma borracha seja introduzida na carcaça. Contudo, é necessário ter em consideração a massa da mini-garra e do seu suporte de fixação.

Tabela 27 – Massa da garra e respetivo suporte.

m_{garra} - Massa da garra (kg)	m_{sg} - Massa do suporte da garra (kg)
0,062	0,022

Utilizando e transformando a equação 8:

$$F_{g_sp} = \sum m_{g_sp} \times g \text{ (N)} \quad (11)$$

Em que:

F_{g_sp} - Força da garra e respetivo suporte (N);

m_{g_sp} – Massa da garra e respetivo suporte (kgf);

g – Aceleração gravítica (m/s^2).

Resta agora resolver a equação 10 para calcular qual a força de avanço do cilindro:

$$F_{g_sp} = (0,062 + 0,022) \times 9,81 = 0,82 \text{ (N)} \quad (12)$$

Somando todas as forças envolvidas, obtém-se a seguinte equação:

$$F_{av} = F_{ib} + F_{g_sp} \text{ (N)} \quad (13)$$

$$F_{av} = 58,86 + 0,82 = 59,68 \text{ N} \quad (14)$$

Em que:

F_{av} - Força de avanço (N).

Na Figura 134 pode-se consultar o valor da força máxima que o cilindro escolhido produz, segundo o eixo dos XX'.

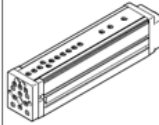
Version	Size	Working stroke [mm]	Speed [m/s]	Max. acceleration [m/s ²]	Repetition accuracy [mm]	Feed force Fx [N]	Guide characteristics				
							Forces and torques				
							Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
	35	50	0.5	25	±0.015	75	512	512	6.2	6.0	6.0
	45	100, 200	1.0	25	±0.015	150	631	631	18.6	16.3	16.3
	55	100, 200, 250	1.0	25	±0.015	300	1047	1047	33.1	33.3	33.3
	75	100, 200, 300	1.3	25	±0.015	450	1539	1539	67.4	47.1	47.1

Figura 134 – Propriedades do atuador da série EGSL (festo.com).

Resta agora verificar se o atuador escolhido cumpre também os requisitos para a introdução de casquilhos e a carga combinada, de modo a estimar a quantidade de ciclos que estes cilindros conseguem realizar com um funcionamento normal, para as condições que lhes são impostas nesta situação em particular.

Para calcular a força necessária para introduzir os casquilhos, realizou-se o mesmo procedimento para as borrachas. Então, como já foi dito anteriormente, aplicou-se um coeficiente de segurança, visto que a medição realizada é pouco precisa.

Na Tabela 28 são apresentados os valores medidos e corrigidos, relativamente à introdução de casquilhos.

Tabela 28 – Valor medido para introduzir casquilhos e respetiva correção.

Valor medido (kgf)	c.s.	Valor corrido (kgf)
3	4	12

Porém, é necessário introduzir a massa da garra e do respetivo suporte. Para tal, basta aplicar a seguinte equação:

$$F_{ic} = m_c \times g \quad (N) \quad (14)$$

Onde:

F_{ic} – Força de introdução de casquilhos metálicos (N);

m_c – Massa de introdução de casquilhos (kgf);

g – Aceleração gravítica (m/s^2).

Substituindo os valores na equação 14, tem-se:

$$F_{ic} = 12 \times 9,81 = 117,72 \text{ N} \quad (15)$$

A força provocada pela garra e pelo suporte pode ver consultada na equação 11, pois todas as garras e respetivos suportes são iguais em ambos os postos de trabalho.

Para mais facilmente entender a aplicação destas forças no cilindro, na Figura 135 pode-se encontrar o diagrama de corpo livre do atuador em questão.

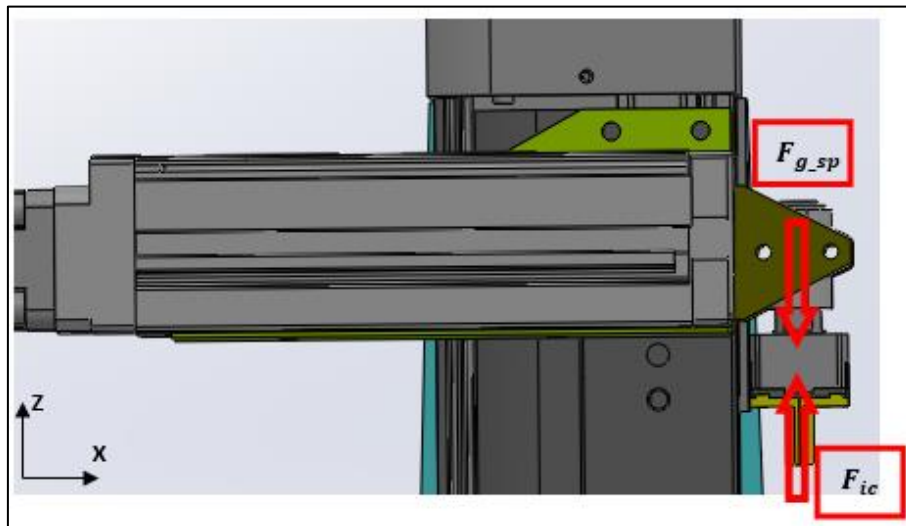


Figura 135 – Diagrama de Corpo Livre da introdução de casquilhos.

Após analisar o Diagrama de Corpo Livre da Figura 135, a equação que resolve o problema em questão é:

$$F_Z = F_{g_sp} + F_{ic} \quad (N) \quad (16)$$

Onde:

F_z – Força em ZZ' (N).

Resolvendo a equação 16:

$$F_z = -0,82 + 117,72 = 116,90 \text{ N} \quad (17)$$

Na Figura 136 pode-se verificar o valor da força máxima que este tipo de atuador pode efetuar.

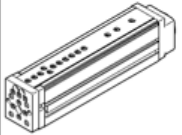
Version	Size	Working stroke [mm]	Speed [m/s]	Max. acceleration [m/s ²]	Repetition accuracy [mm]	Feed force Fx [N]	Guide characteristics				
							Forces and torques				
							Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
	35	50	0.5	25	±0.015	75	512	512	6.2	6.0	6.0
	45	100, 200	1.0	25	±0.015	150	631	631	18.6	16.3	16.3
	55	100, 200, 250	1.0	25	±0.015	300	1047	1047	33.1	33.3	33.3
	75	100, 200, 300	1.3	25	±0.015	450	1539	1539	67.4	47.1	47.1

Figura 136 – Propriedades do atuador da série EGSL (festo.com).

A Figura 136 será útil para as verificações seguintes, pois nela são apresentados todos os valores máximos de forças e momentos, valores que serão necessários para poder verificar a carga combinada. Para isso, é necessária a análise cuidadosa do seguinte Diagrama de Corpo Livre (Figura 137).

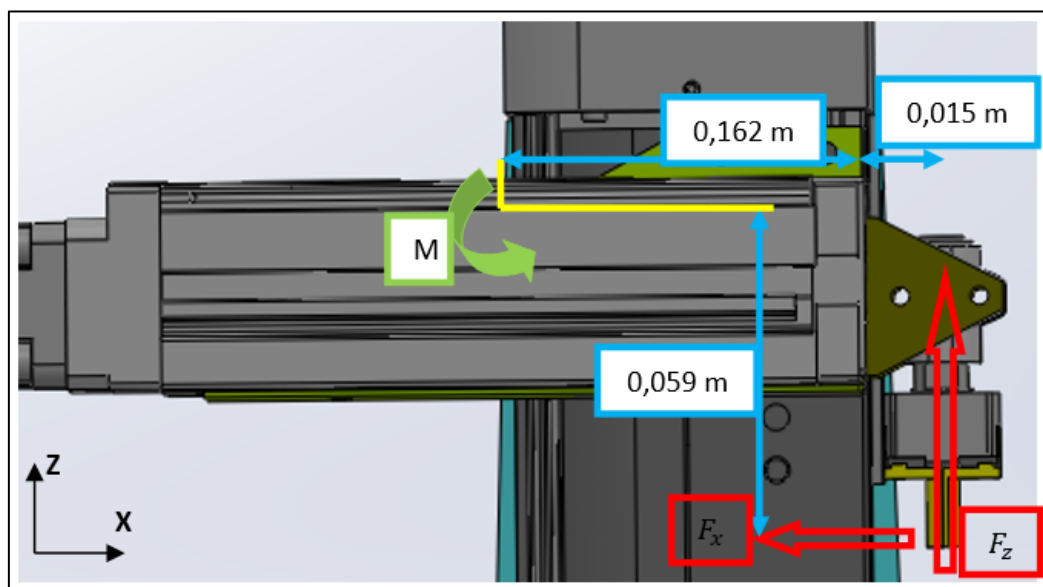


Figura 137 – Diagrama de Corpo Livre para cálculo de carga combinada.

Em seguida, serão apresentadas todas as equações necessárias para conseguir determinar a carga combinada (Equação 18). Então, optou-se por aplicar a pior situação – juntar os movimentos do Posto 1 e Posto 2 – daí estarem representadas, na Figura 139, todas as forças necessárias para introduzir borrachas e casquilhos.

$$f_v = \frac{|F_Y|}{F_{Ymax}} + \frac{|F_Z|}{F_{Zmax}} + \frac{|M_X|}{M_{Xmax}} + \frac{|M_Y|}{M_{Ymax}} + \frac{|M_Z|}{M_{Zmax}} \quad (18)$$

Como se pode constatar, alguns valores já foram determinados anteriormente – os valores máximos podem ser encontrados na Figura 138.

Posto isto, resta calcular:

$$F_Y = 0 \text{ N} \quad (19)$$

$$M_X = 0 \text{ Nm} \quad (20)$$

$$M_Y = 116,90 \times (0,162 + 0,015) = 20,69 \text{ Nm} \quad (21)$$

$$M_Z = 59,68 \times 0,059 = 3,52 \text{ Nm} \quad (22)$$

Resta agora aplicar a equação 18 para determinar o fator de comparação de carga (f_v).

$$f_v = \frac{|0|}{631} + \frac{|116,90|}{631} + \frac{|0|}{18,5} + \frac{|20,69|}{16,3} + \frac{|3,52|}{16,3} \quad (23)$$

$$f_v = 1,04$$

Por fim, analisando a Figura 138, é possível determinar quantos milhões de ciclos estes cilindros aguentariam a trabalhar para a pior situação.

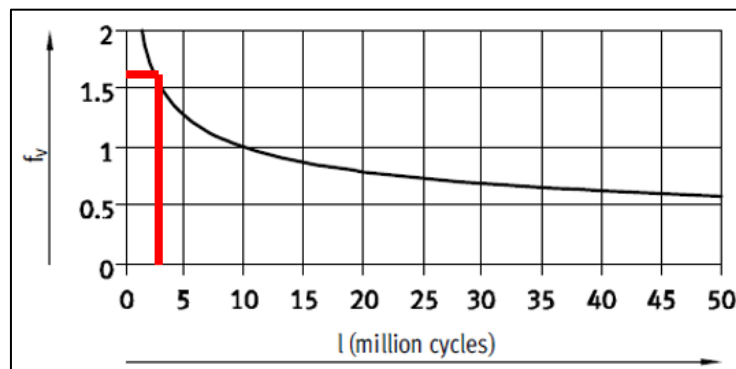


Figura 138 – Fator de comparação de carga f_v vs. Número de ciclos.

No Anexo IV.II pode-se encontrar a ficha técnica destes cilindros e simulações para ambas as situações, quer para o cilindro de introdução de borrachas (Anexo IV.II.I), quer para o cilindro de introdução de casquilhos (Anexo IV.II.II).

3.6.3.4.3 Mini-Garra

Como já foi dito anteriormente, para agarrar nos acessórios, aplicou-se uma mini-garra da série HGPM da FESTO. A aplicação desta garra tornou-se muita vantajosa dadas as suas dimensões, uma vez que não ocuparia muito espaço.

Em seguida, será apresentado o diagrama de corpo livre da garra (Figura 139), para que se possa entender como serão aplicadas as forças durante o seu funcionamento.

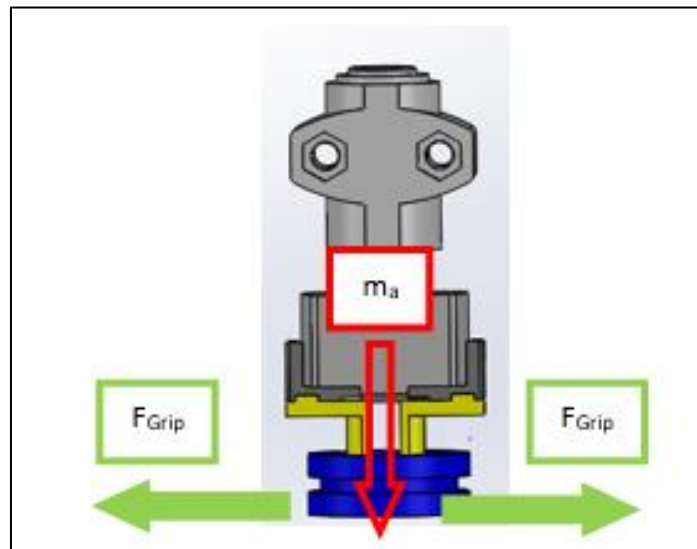


Figura 139 – Diagrama de Corpo Livre da mini-garra (festo.com).

Em que:

F_{Grip} – Força de fixação;

m_a – Massa do acessório.

Relativamente à massa do acessório, podem existir algumas diferenças (mínimas) entre os diversos tipos de acessórios. Então, considerou-se a pior situação e majorou-se o peso, pois podem haver diferenças de massas dentro da mesma gama de acessórios.

Para calcular a força de abertura, é necessário aplicar a seguinte equação:

$$F_{Grip} = m_a \times g \times \mu_c \quad (N) \quad (24)$$

Onde:

g – aceleração gravítica (m/s^2);

μ_c – coeficiente de atrito.

Mais uma vez, para determinar o coeficiente de atrito, optou-se pela pior situação, pois no caso das borrachas, estas terão de ser humedecidas com água e sabão. Assim sendo, considerou-se um coeficiente de atrito de 0,15.

Posto isto, aplicando a equação 24, obtém-se:

$$F_{Grip} = 0,010 \times 9,81 \times 0,15 = 0,015 \text{ N} \quad (25)$$

Comparando o valor calculado na equação 25 com os valores apresentados na Figura 140:

General technical data		
Size	8	12
Constructional design	Wedge-shaped drive	
Mode of operation	Single-acting	
Gripper function	Parallel	
Number of gripper jaws	2	
Max. weight force per external gripper finger ¹⁾	[N]	0.05
Resetting force ²⁾ Gripper jaws open	[N]	1.5
Gripper jaws closed	[N]	6.5
Stroke per gripper jaw	[mm]	2
Pneumatic connection	M3	
Repetition accuracy ^{3) 4)}	[mm]	< 0.05
Max. interchangeability	[mm]	0.4
Max. operating frequency	[Hz]	4
Centring precision ⁵⁾	[mm]	< \varnothing 0.15 (valid only for HGPM-...-G8 and HGPM-...-G9)
Position sensing	Without	
Type of mounting	Via through-holes	
HGPM-...-E...-G6	Clamped	
HGPM-...-E...-G8	With female thread and locating hole	
HGPM-...-E...-G9		

Figura 140 – Propriedades da mini-garra da série HGPM (festo.com).

Pode-se verificar que a garra selecionada cumpre os requisitos que lhe são impostos, mas a escolha deste componente deve-se não à força de abertura aplicada, mas sim ao espaço reduzido que necessita para a aplicação e a abertura reduzida, uma vez que, como se pode verificar na Figura 140, o curso de abertura é de 2 mm, o que é suficiente para que a mini-garra consiga deformar as borrachas para facilitar a sua inserção na carcaça e para que consiga segurar o casquilho metálico sem que esta ação danifique o acessório.

Por fim, resta verificar a força produzida pela garra quando esta possui os mordentes de acréscimo. Para isso, é necessário conhecer a distância entre a base da mini-garra e o centro da peça que esta irá transportar (Figura 141). Esta medida teve em consideração os diversos acessórios – de borrachas e metálicos, redondos e ovais – ou seja, o valor apresentado é a média de todos os componentes.

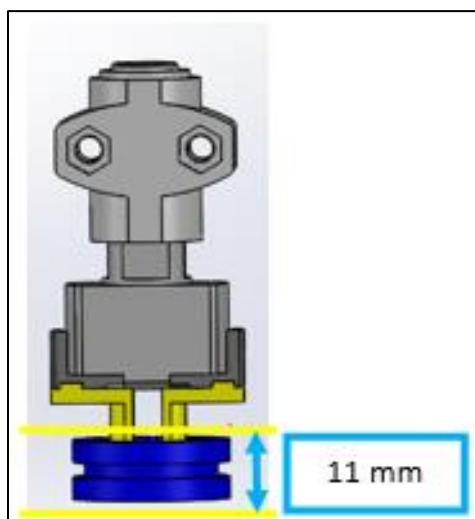


Figura 141 – Medida da base da mini-garra até ao centro do acessório.

Analisando a Figura 142, pode-se encontrar a força provocada pela garra quando possui os mordentes em relação à medida apresentada para diferentes tipos de pressão na Figura 142.

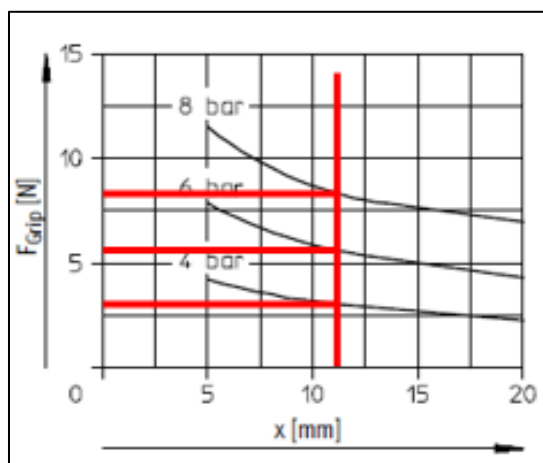


Figura 142 – Força de fixação interna (festo.com).

No Anexo IV.III pode-se encontrar a ficha técnica relativamente à mini-garra selecionada.

Para finalizar, mais uma vez se verificou que o componente escolhido se adequa e cumpre os requisitos impostos.

3.6.3.4.4 Eixo elétrico

Visto já se ter justificado a aplicação dos componentes constituintes do *pick-and-place*, resta verificar a escolha do eixo elétrico da série EGC. Para isso, é necessário entender o sentido da aplicação das forças e o sentido de rotação dos momentos provocados pelas mesmas (Figura 143) e discriminar as forças envolvidas durante o funcionamento do *pick-and-place* (Tabela 29). Mais uma vez, nas verificações realizadas, considerou-se a pior situação, ou seja, foram considerados os movimentos realizados no Posto 1 e no Posto 2.

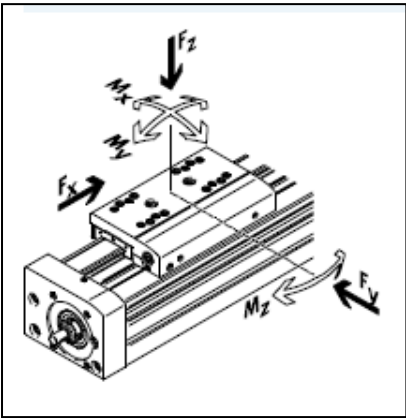


Figura 143 – Sistema de coordenadas (festo.com).

Tabela 29 – Massa dos componentes movidos pelo eixo EGC.

Massa cilindro (kg)	Massa servomotor (kg)	Massa da garra (kg)
1,570	1,650	0,084

Por fim, na Figura 144, será apresentado o Diagrama de Corpo Livre do *pick-and-place*, para posteriormente efetuar os cálculos de verificação.

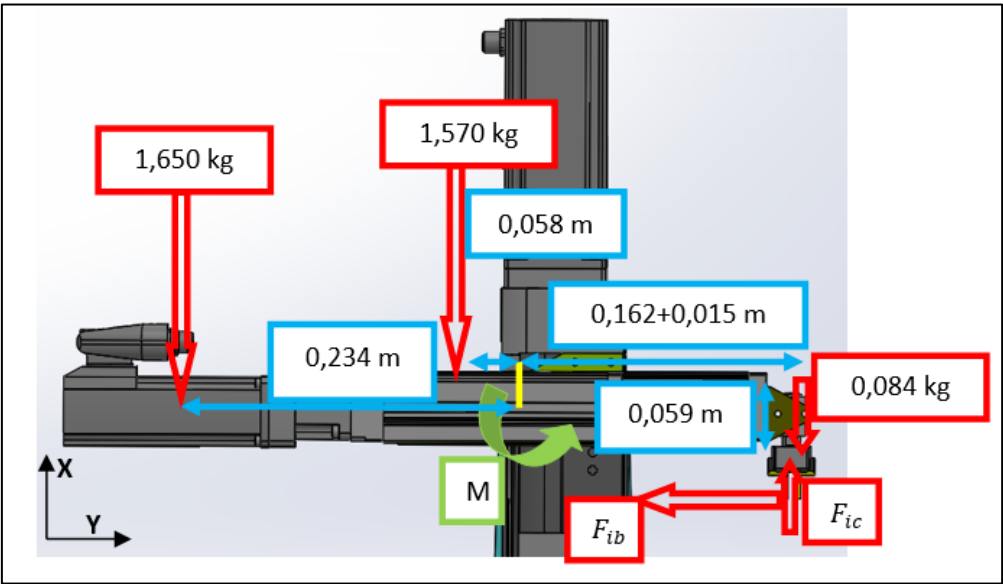


Figura 144 – Diagrama de Corpo Livre do eixo elétrico.

Finalmente, para determinar as reações segundo os planos XX' e YY', basta aplicar as seguintes equações:

$$F_x = [(1,650 + 1,570 + 0,084) \times 9,81] + 117,72 = 150,13 \text{ N} \tag{26}$$

$$F_y = 58,86 \text{ N} \quad (27)$$

Assim, resta verificar os momentos impostos pela aplicação das forças, com recurso ao diagrama de corpo livre da Figura 146, obtendo-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned} M_z &= (1,650 \times 0,234 \times 9,81) + (1,570 \times 9,81 \times 0,058) \\ &\quad + (-0,084 \times 9,81 \times (0,162 + 0,015)) \\ &\quad + (117,72 \times (0,162 + 0,015)) - (58,86 \times 0,059) \\ &= 21,22 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (28)$$

Para finalizar, resta comparar os valores obtidos nas equações 26, 27 e 28 e comparar com os valores da Figura 145.

Version	Size	Working stroke [mm]	Speed [m/s]	Repetition accuracy [mm]	Feed force [N]	Guide characteristics				
						Forces and torques				
						F _y [N]	F _z [N]	M _x [Nm]	M _y [Nm]	M _z [Nm]
Recirculating ball bearing guide										
	70	50 ... 1000	0.5	±0.02	300	1850	1850	16	132	132
	80	50 ... 2000	1.0	±0.02	600	3050	3050	36	228	228
	120	50 ... 2500	1.5	±0.02	1300	6890	6890	144	680	680
	185	50 ... 3000	2.0	±0.02	3000	15200	15200	529	1820	1820

Figura 145 – Propriedades do eixo elétrico da série EGC (festo.com).

Como se pode verificar, todos os valores Tabelados são superiores aos valores calculados. É importante referir que a escolha deste eixo deveu-se ao facto de este ser controlado eletronicamente, pois o *pick-and-place* aplicado irá trabalhar por cima da calha final onde estarão os acessórios. Assim sendo, o curso do eixo terá que ser controlado eletronicamente, para garantir uma maior precisão de movimentos.

No Anexo IV.IV, pode ser encontrada a simulação realizada informaticamente, pelo que é importante referir que os tempos de ciclo lá apresentados são referentes a um curso efectivo de 100 mm. Contudo, na situação em questão, o curso será apenas de cerca de 40 mm, sendo este o curso necessário para que o *pick-and-place* consiga realizar o trabalho imposto sem que embata contra a calha final ou fique preso na carcaça plástica. Em suma, o tempo real de funcionamento será muito menor do que o apresentado na simulação.

3.6.3.4.5 Servomotor para mover o alimentador vibratório

Para conseguir mover e posicionar o alimentador vibratório angularmente em relação à carcaça, como foi dito anteriormente, aplicou-se um servomotor, pois desta forma o rigor no posicionamento do alimentador é superior ao posicionamento realizado manualmente. Contudo, é necessário verificar se o binário produzido pelo motor é suficiente para mover a massa referente ao alimentador vibratório.

Na Tabela 30 estão apresentados os componentes que constituem o alimentador vibratório e a sua respetiva massa.

Tabela 30 – Massa dos vários componentes do alimentador vibratório.

Componente	Quantidade	Massa (kg)	Massa total (kg)
Servomotor	1	2,300	2,300
Servomotor	2	1,650	3,300
Cilindro elétrico	1	1,570	1,570
Cilindro elevatório	2	0,865	1,730
Eixo elétrico	1	1,860	1,860
Mesa vibratória	1	10	10
Mesa linear vibratória	1	3,5	3,5
Estrutura metálica	1	8,481	8,481
Redutor	1	0,900	0,900
Outros	1	1,5	1,5
Massa total do alimentador vibratório (kg)			35,141

Na Figura 146 pode ser observado o Diagrama de Corpo Livre do alimentador vibratório.

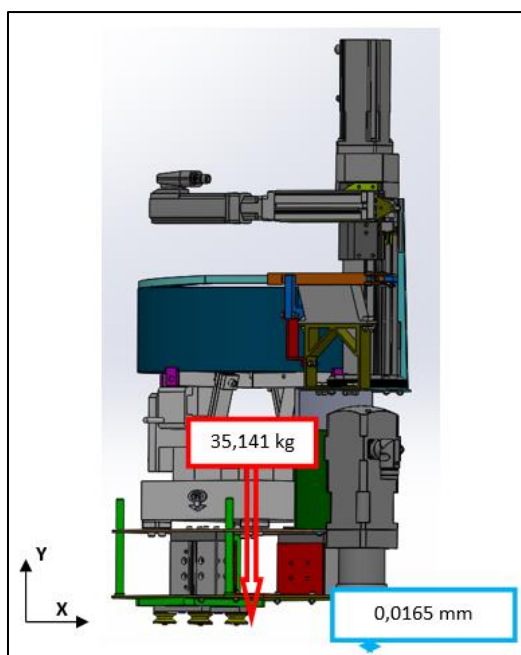


Figura 146 – Diagrama de Corpo Livre do alimentador vibratório.

Desta forma, com recurso à equação seguinte, pode ser determinado o binário necessário para mover a massa total do alimentador vibratório.

$$T = F_{A_V} \times r \quad (Nm) \quad (29)$$

Em que:

T – Torque (Nm);

F_{A_V} – Força do alimentador vibratório (N);

r – Raio de giração do pinhão (m).

Primeiramente, é necessário determinar a força do alimentador vibratório. Então, aplica-se a seguinte equação:

$$F_{A_V} = m_{A_V} \times g \quad (N) \quad (30)$$

Onde:

F_{A_V} – Força do alimentador vibratório (N);

m_{A_V} – Massa do alimentador vibratório (kg);

g – Aceleração gravítica (m/s²).

Resolvendo a equação 30, obtém-se:

$$F_{A_V} = 35,141 \times 9,81 = 344,73 \text{ N} \quad (31)$$

Por fim, aplicando a equação 29:

$$T = 344,73 \times 0,0165 = 5,69 \text{ Nm} \quad (32)$$

Por fim, analisando a Figura 147, pode-se ver que o binário produzido pelo servomotor escolhido não é suficiente para conseguir mexer a estrutura do alimentador vibratório. Nesse sentido, aplicou-se um redutor 5:1, pois desta forma a velocidade de rotação será cinco vezes menor, ao invés do binário produzido que será cinco vezes maior.

Assim sendo, aplicando a equação seguinte, consegue-se saber qual o verdadeiro binário produzido pelo servomotor quando se aplica um redutor 5:1.

$$T = 2,5 \times 5 = 12,5 \text{ Nm} \quad (33)$$

General technical data			
Size	87-S	87-M	87-L
Motor			
Nominal voltage [V DC]	48		
Nominal current [A]	9.5		
Max. rotational speed ¹⁾ [rpm]	2,130	550	430
Holding torque [Nm]	2.5	5.9	9.3

Figura 147 – Propriedades do servomotor da série EMMS (festo.com).

Como o binário calculado é menor do que o binário do servomotor com o redutor 5:1, pode-se afirmar que o componente escolhido cumpre os requisitos impostos.

No Anexo IV.V encontra-se a simulação efetuada relativamente ao servomotor escolhido.

3.6.3.4.6 Atuador giratório

Este atuador giratório foi aplicado para fornecer uma maior flexibilidade ao equipamento, para posicionar os gabaritos e diminuir o tempo de *setup* do equipamento, como já foi dito anteriormente. Contudo, é necessário verificar a força do atuador pneumático.

Como também já foi referido, o facto de o atuador rotativo trabalhar com um cilindro pneumático da série DNC não interfere com o funcionamento deste subsistema, pois nesta situação em concreto o cilindro deverá expandir o seu êmbolo totalmente para que os pinos do gabarito se soltem da paleta e este possa girar sem qualquer problema. Quando se encontrar na posição correta, o cilindro recolhe o êmbolo de forma a que o gabarito fique impedido de girar.

Na Figura 148 é apresentado o Diagrama de Corpo Livre deste atuador.



Figura 148 – Diagrama de Corpo Livre do atuador giratório.

De modo a saber se o cilindro pneumático escolhido cumpre os requisitos impostos, ou seja, se é capaz de elevar o gabarito, primeiramente é necessário determinar qual a força provocada pelo gabarito. Para isso, será necessário resolver a seguinte equação:

$$F_G = P_g + F_{mola}(N) \quad (34)$$

Onde:

F_G – Força provocada pelo gabarito (N);

P_g – Peso do gabarito (N);

F_{mola} – Força provocada pela mola (N).

Para resolver a equação 34, é necessário determinar todas as incógnitas. Então:

- 1ª) Determinar P_g :

$$P_g = m_g \times g \quad (N) \quad (35)$$

Em que :

P_g - Peso do gabarito (N);

m_g - Massa do gabarito (kg);

g - Aceleração gravítica (m/s^2).

$$P_g = 0,290 \times 9,81 = 2,85 \text{ N} \quad (36)$$

- 2ª) Determinar F_{mola} :

$$F_{mola} = k \times \Delta x \quad (N) \quad (37)$$

Em que:

F_{mola} - Força provocada pela mola (N);

k - Constante da mola (N/m);

Δx - Deformação da mola (m).

Para a mola escolhida, a deformação que esta pode sofrer é de 1930 N/m (Figura 149).

STAINLESS STEEL					
Catalog Number	Load (lb)		Spring Rate		
	lb	kg	lb/in	kg/mm	N/mm
C0300-049-2250-S			20.66	3.62	
C0300-049-2500-S	14.98	66.62	18.58	3.26	
C0300-049-2750-S			16.83	2.95	
C0300-049-3000-S			15.33	2.68	
C0300-051-0380-S			188.74	33.05	
C0300-051-0440-S			155.23	27.19	
C0300-051-0500-S			131.86	23.09	
C0300-051-0560-S			114.54	20.06	
C0300-051-0620-S			101.25	17.73	
C0300-051-0690-S			89.21	15.62	
C0300-051-0750-S			80.97	14.18	
C0300-051-0810-S			74.14	12.98	
C0300-051-0880-S			67.47	11.81	
C0300-051-0940-S			62.64	10.97	
C0300-051-1000-S	16.80	74.74	58.39	10.23	
C0300-051-1120-S			51.56	9.03	
C0300-051-1250-S			45.73	8.01	
C0300-051-1380-S			41.07	7.19	
C0300-051-1500-S			37.57	6.58	
C0300-051-1750-S			31.82	5.57	
C0300-051-2000-S			27.66	4.84	
C0300-051-2250-S			24.41	4.27	
C0300-051-2500-S			21.91	3.84	
C0300-051-2750-S			19.83	3.47	
C0300-051-3000-S			18.08	3.17	
D21550			4.23	0.74	
D21560			2.71	0.47	
D21570	1.87	8.33	1.76	0.31	
D21580			1.19	0.21	
D21590			0.81	0.14	
D21750			11.03	1.93	
D21770	3.66	16.26	4.57	0.80	
D21780			3.09	0.54	
D21790			2.09	0.37	

Figura 149 – Constante da mola (assocspring.co.uk).

Posto isto, resolvendo a equação 37:

$$F_{mola} = 1930 \times 0,010 = 19,3 \text{ N} \quad (38)$$

Por fim, para determinar a força provocada pelo gabarito (F_G) (Equação 34):

$$F_G = 2,85 + 19,30 = 22,15 \text{ N} \quad (39)$$

Resta, então, corrigir o valor determinado pela equação 39, podendo ser este verificado na Tabela 31.

Tabela 31 - Valor calculado da força provocada pelo gabarito (F_G) e respetiva correção

Valor calculado (N)	c.s.	Valor corrigido (N)
22,15	4	88,60

Visto conhecer-se o valor da força provocada pelo gabarito, resta comparar com o valor teórico (Figura 150).

Ø do cilindro mm	Curso padrão mm	Curso mín. - máx. mm	Força de avanço 6 bar*-N	Força de retorno 6 bar*-N	Conexão	Curso de amortecimento-mm
32	25, 40, 50, 80	10 até 2000	483	415	G ¹ / ₈	20
40	100, 125, 160	10 até 2000	754	633	G ¹ / ₄	20
50	200, 250, 320	10 até 2000	1178	990	G ¹ / ₄	22
63	400, 500	10 até 2000	1870	1682	G ³ / ₈	22
80		10 até 2000	3016	2721	G ³ / ₈	32
100		10 até 2000	4712	4418	G ¹ / ₂	32
125		10 até 2000	7363	6881	G ¹ / ₂	42

Figura 150 – Propriedades do atuador pneumático da série DNC (festo.com).

O atuador pneumático cumpre os requisitos impostos. Porém, no Anexo IV.VI pode-se encontrar a ficha técnica do atuador pneumático (Anexo IV.VI.I) e a simulação do atuador giratório (Anexo IV.VI.II).

3.6.3.4.7 Atuadores para movimentar verticalmente os alimentadores vibratórios

Os alimentadores necessitam de ser movimentados verticalmente, de maneira a possuírem maior flexibilidade de adaptação às diferentes referências de carcaças. Posto isto, aplicaram-se dois cilindros pneumáticos da série DFM da marca FESTO com duas guias, de modo a evitar que a haste encurve (Figura 151).

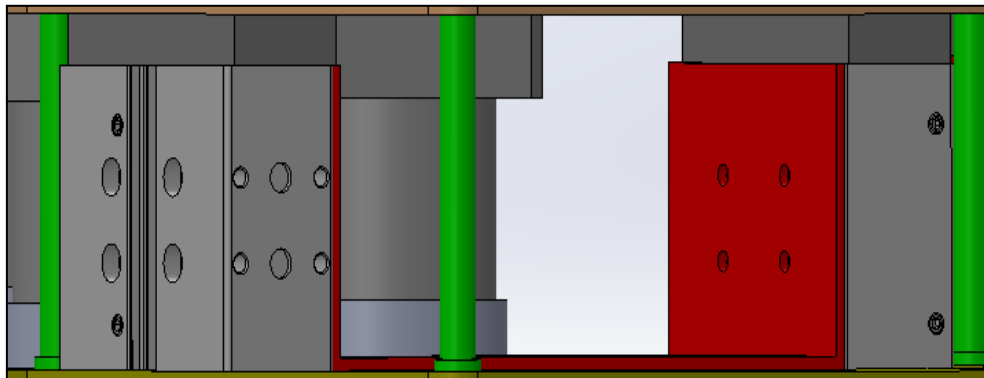


Figura 151 – Cilindros para elevar alimentador vibratório.

A Tabela 30 apresentada anteriormente inclui todos os componentes que constituem o alimentador vibratório e respectivas massas. Então, para o pior cenário possível – que seria elevar toda a estrutura –, será considerada uma massa de 35,151 kg.

Na Figura 152 será apresentado o Diagrama de Corpo Livre referente a estes dois cilindros.

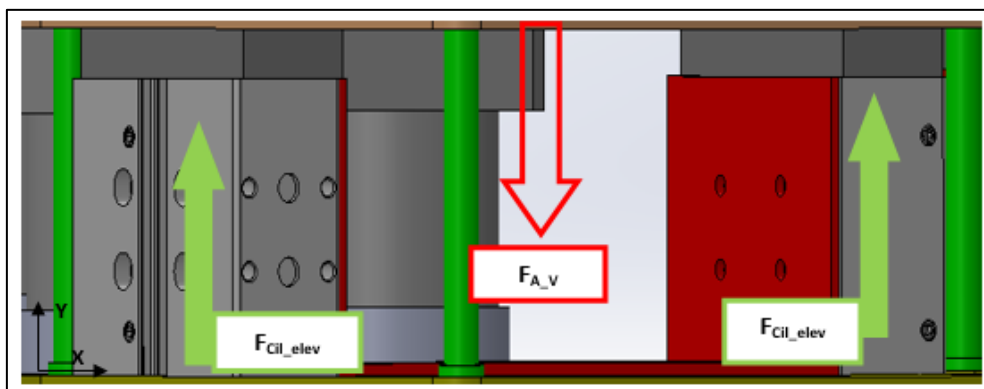


Figura 152 – Diagrama de Corpo Livre dos cilindros para elevar o alimentador vibratório.

Resta então determinar a força a que cada cilindro irá estar sujeito:

$$\sum F_Y = 2 \times F_{cil_{elev}} - F_{A_v} = 0 \quad (N) \quad (40)$$

Em que:

F_{Cil_elev} – Força do cilindro de elevação (N);

F_{A_V} – Força do alimentador vibratório (N).

Resolvendo a equação 40, obtém-se:

$$F_{Cil_elev} = \frac{344,73}{2} = 172,37 \text{ N} \quad (41)$$

Cada cilindro terá de efetuar uma força de 172,37 N para conseguir movimentar o alimentador vibratório verticalmente. Na Figura 153 estão apresentadas as forças teóricas relativas a este tipo de cilindros.

Força teórica a 6 bar, retorno	141 N
Força teórica a 6 bar, avanço	188 N

Figura 153 - Propriedades dos cilindros DFM (festo.com).

É de referir que este cilindro trabalha num intervalo de pressão entre 2 a 10 bar. Esta e outras informações técnicas podem ser conferidas na ficha técnica presente no Anexo IV.VII.

3.6.3.4.8 Cremalheira e pinhão

Para findar, é necessário justificar as dimensões escolhidas para a cremalheira e pinhão utilizados.

Então, antes de começar, é necessário definir determinados aspetos que são importantes para os cálculos que serão apresentados de seguida:

- Módulo (m) – 1 mm – deste modo, garantiram-se dentes mais pequenos, o que permite uma maior abrangência de ângulos, ou seja, o deslocamento do alimentador será menor, permitindo um melhor posicionamento. Como o dentado da cremalheira é bastante reduzido, o pinhão poderia soltar-se. Contudo, como a velocidade de movimento dos alimentadores vibratórios é reduzida e o pinhão se encontra limitado pela chapa inferior do alimentador e o tampo da mesa inferior, não existe o risco de o pinhão se soltar da cremalheira.
- Passo (p)

$$p = m \times \pi \quad (42)$$

$$p = 1 \times \pi = \pi \quad (43)$$

- Espessura do dente (s)

$$s = \frac{p}{2} \quad (mm) \quad (44)$$

$$s = \frac{\pi}{2} = 1,57 \text{ mm} \quad (45)$$

Resta agora determinar as dimensões da cremalheira e do pinhão.

- **Cremalheira:**

Através da equação seguinte, consegue-se saber quantos dentes a cremalheira terá:

$$d = Z_1 \times m \quad (mm) \quad (46)$$

Onde:

d - Diâmetro primitivo (mm);

Z₁ - Número de dentes da cremalheira;

m - Módulo (mm).

Resolvendo a equação 46, obtém-se:

$$Z_1 = \frac{350}{1} = 350 \text{ dentes} \quad (47)$$

Com a equação seguinte, consegue-se determinar qual o diâmetro exterior:

$$d_a = d + 2,0 \times m \quad (mm) \quad (48)$$

Em que:

d_a - Diâmetro exterior (mm);

d - Diâmetro primitivo (mm);

m - Módulo (mm).

$$d_a = 350 + 2,0 \times 1 = 352 \text{ mm} \quad (49)$$

Relativamente ao diâmetro da raiz, este é calculado com o auxílio da seguinte equação:

$$d_f = d - 2,5 \times m \quad (mm) \quad (50)$$

Onde:

d_f - Diâmetro da raiz (mm);

d - Diâmetro primitivo (mm);

m - Módulo (mm).

$$d_f = 350 - 2,5 \times 1 = 347,5 \text{ mm} \quad (51)$$

Resta agora determinar as dimensões do pinhão, de modo a que consiga trabalhar na cremalheira anteriormente dimensionada.

Para começar, é necessário analisar a Figura 154 e posteriormente calcular o número de dentes do pinhão.

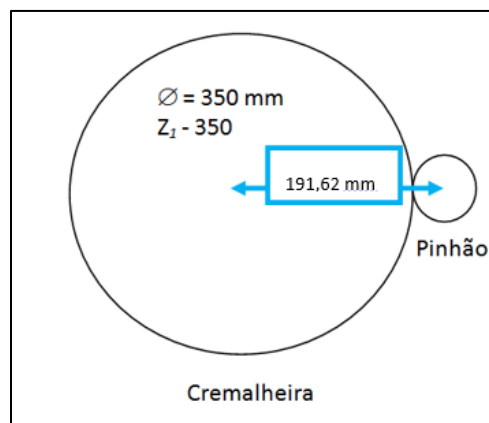


Figura 154 – Distância entre eixos entre o pinhão e a cremalheira, para determinar o número de dentes do pinhão.

$$a = \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} \times m \quad (mm) \quad (52)$$

Onde:

a – Distância entre eixos (mm) ;

Z_1 – Número de dentes da cremalheira;

Z_2 – Número de dentes do pinhão;

m – Módulo (mm).

Resolvendo a equação 52, obtém-se:

$$191,62 = \frac{(350 + Z_2)}{2} \times 1 \Leftrightarrow Z_2 = 33,28 \quad (53)$$

Para os cálculos seguintes considerou-se $Z_2 - 33$.

Aplicando a equação seguinte, consegue-se determinar o diâmetro primitivo do pinhão:

$$d = Z_2 \times m \text{ (mm)} \quad (54)$$

Onde:

d – Diâmetro primitivo (mm);

Z_2 – Número de dentes da cremalheira;

m – Módulo (mm).

$$d = 33 \times 1 = 33 \text{ mm} \quad (55)$$

Para finalizar, é necessário determinar o diâmetro exterior e o diâmetro da raiz.

- **Diâmetro exterior:**

$$d_a = d + 2,0 \times m \text{ (mm)} \quad (56)$$

Em que:

d_a – Diâmetro exterior (mm);

d – Diâmetro primitivo (mm);

m – Módulo (mm).

$$d_a = 33 + 2,0 \times 1 = 35 \text{ mm} \quad (57)$$

- **Diâmetro exterior:**

$$d_f = d - 2,5 \times m \text{ (mm)} \quad (58)$$

Onde:

d_f – Diâmetro da raiz (mm);

d – Diâmetro primitivo (mm);

m – Módulo (mm).

$$d_f = 33 - 2,5 \times 1 = 30,5 \text{ mm} \quad (59)$$

Visto que na equação 53 o resultado não foi um valor inteiro, é necessário verificar se o sistema irá ou não ser afetado. Para isso, voltando a aplicar a equação 52, com o valor de Z_1 e Z_2 de 350 mm e 33 mm, respetivamente:

$$a = \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} \times m \quad (mm) \quad (60)$$

Em que:

a – Distância em eixos (mm) ;

Z_1 – Número de dentes da cremalheira;

Z_2 – Número de dentes do pinhão;

m – Módulo (mm).

$$a = \frac{(350 + 33)}{2} \times 1 = 191,5 \text{ mm} \quad (61)$$

Como se pode verificar, o valor prático (apresentado na Figura 154), quando comparado com o valor determinado na equação 61, é maior cerca de 0,12 mm. Contudo, apesar de esta folga existir, o sistema não sofrerá qualquer tipo de dano, pois esta é bastante pequena. Caso se verificasse o contrário, ou seja, o valor calculado fosse maior que o valor prático, o sistema iria ter problemas durante o seu funcionamento, como por exemplo ruído ou um excessivo desgaste na cremalheira e no pinhão.

3.6.3.5 *Justificação das soluções adotadas para os controlos*

Para se proceder à avaliação da qualidade das peças produzidas, pensou-se em vários métodos, como por exemplo a aplicação de sensores indutivos para detetar o casquilho metálico. Contudo, no caso de falhar alguma borracha, o casquilho iria ser colocado e conseguiria manter-se na carcaça devido às nervuras que esta apresenta. Desta forma, o sensor iria fazer a leitura e esta iria ser considerada positiva, permitindo que uma peça não conforme passasse o controlo de qualidade. Outro motivo que levou à recusa deste método foi o facto de este ter de ser posicionado angularmente em relação às carcaças, seguindo a mesma filosofia que foi adotada para o Posto 1 e Posto 2, o que levaria a necessitar de incorporar mais equipamentos para proceder ao posicionamento dos sensores. Em suma, isto resultaria numa maior área ocupada pela mesa.

Outro método passava pela aplicação de uma balança decimal, pois esta consegue medir valores muito baixos e conseguiria avaliar a conformidade da montagem, caso algum acessório não fosse montado. Contudo, este tipo de balanças é muito sensível, podendo a sua medição ser afetada por pequenas vibrações, como um simples camião a circular nas proximidades. Normalmente, estas balanças são aplicadas em bancadas que diminuam a vibração e em edifícios longe de estradas. Como se sabe, este equipamento trabalha essencialmente com alimentadores vibratórios e com movimentos constantes de cilindros e de uma passadeira indexada. Assim sendo, todas as medições, caso se adotasse este método, seriam afetadas diretamente pelo próprio equipamento. Posto isto, era necessário ainda aplicar um método para fazer a contagem das peças conformes e não conformes.

Após algumas ideias iniciais, pensou-se e optou-se por se aplicar uma câmara de inspeção, ou seja, uma câmara da série SBOC comercializada pela FESTO, que permite um controlo rigoroso e possibilita a transferência de dados para o *display*, fazendo a contagem de peças conformes e não conformes.

Este equipamento permite uma avaliação de peças sem uso de sensores, analisando apenas a imagem capturada com uma imagem previamente colocada na base de dados do controlador da câmara. A captura de imagem realizada pela câmara é extremamente rápida, conseguindo focar e analisar a peça.

Relativamente ao controlo, este componente é controlado através de um PLC, o que permite que a linha de código de programação utilizada para os cilindros seja a mesma para controlar a câmara. Isto proporciona uma forma de implementação e análise bastante cuidadas e também de ligação com outras câmaras, caso seja necessário. O PLC utiliza o *software* CheckKon, o que permite a análise monitorizada no preciso momento em que a câmara está a medir e possibilita a alteração dos parâmetros de medição sempre que necessário. No caso do *software* CheckOpti, este permite a configuração das inspeções que esta câmara deverá ou não realizar, como por exemplo: medidas horizontais e verticais, ângulos, áreas e diferenciação de cores (Figura 155) (festo.com).

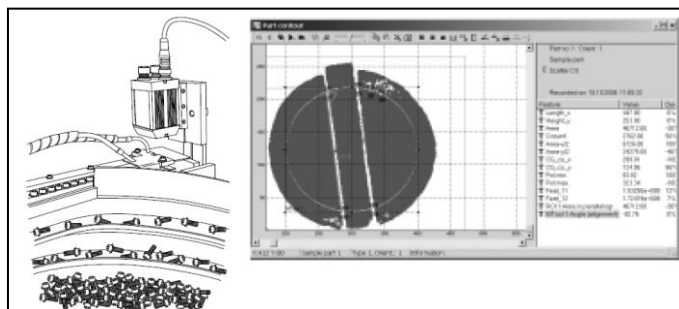


Figura 155 – Medição da posição dos parafusos e *software* com imagem para comparação (festo.com).

Como já foi referido anteriormente, no *display* será apresentada a quantidade de peças conformes e não conformes. No caso das não conformes, a câmara é capaz de fazer a contagem de peças para parar o equipamento caso se verifique uma das condições apresentadas no capítulo 3.6.2.6., pois esta câmara possui duas saídas que permitem a parametrização de peças bem montadas, peças rejeitadas, entre outras (Figura 156).

Característica	Valores
Resolução do sensor	1280 x 1024 Pixel (SXGA)
Fixação da objetiva	Com conexão de montagem C para lentes padrão
Campo de visão	Dependendo da objetiva selecionada
Largura	45 mm
Altura	45 mm
Comprimento	139,4 mm
Entradas	Entrada 1: Sinal do disparador, entrada 2: aceitar entradas
Número máx. de orientações diferentes	8 por tipo de peça
Número máx. de programas de teste	256
Função de seleção	Até 16 tipos/programas de teste
Saídas	Saída 1: disponibilidade operacional, saída 2 e saída 3 podem ser parametrizadas: peças boas, peças rejeitadas, orientação correta, orientação incorreta, iluminação externa

Figura 156 – Propriedades da câmara da série SBOC (festo.com).

Resta dizer que, para além das vantagens apresentadas anteriormente, as suas dimensões e facilidade de montagem vincaram a escolha desta opção. Contudo, para um correto funcionamento, a câmara carece de proteção contra luminosidade externa, pois pode afetar as medições efetuadas, visto que a câmara, durante o período de medição, emite luz suficiente através de *flashes*. Em suma, com as proteções de polímero que foram aplicadas, as medições efetuadas pela câmara – bem como os operários que se encontram na área do equipamento – estão salvaguardados dos *flashes* que a mesma emite.

No Anexo V encontra-se a ficha técnica com todas as informações da câmara escolhida.

3.6.3.6 Justificação para as soluções adotadas para a segurança dos operadores

Como já foi referido anteriormente, a "Avaliação de Risco" consiste em analisar todas as funções perigosas associadas a equipamentos mecânicos. Por isso, será aconselhável avaliar os riscos e perigos associados ao equipamento desenvolvido. Para tal, é necessária a subcontratação de empresas credenciadas para o efeito, como por exemplo o ISQ (Instituto de Soldadura e Qualidade).

Para o manuseamento de equipamentos mecânicos, é necessário que o operário possua conhecimento do mesmo, de modo a conseguir trabalhar em segurança e agir dentro da conformidade, caso aconteça algo de anormal, como uma avaria ou acidente. Por questões de segurança, existem diretrizes que devem ser cumpridas por todos os operários que se encontram na área em redor do equipamento desenvolvido, tais como:

- Nunca remover proteções ou abrir janelas, sem que o equipamento esteja desligado – é aconselhável desligar a fonte de alimentação, de modo a evitar o acionamento acidental do equipamento;
- Em caso de manutenção, verificar todas as proteções e se estas se encontram devidamente colocadas;
- Nunca colocar as mãos dentro do equipamento ou tentar mexer em componentes em movimento;
- Recorrer a mão-de-obra especializada para realizar a manutenção ou limpeza, de modo a evitar acidentes, tanto para o operário como para o equipamento;
- Não colocar material, ferramentas ou objetos estranhos em cima do equipamento;
- Manter os quadros elétrico e pneumático fechados.

3.6.3.6.1 Sistemas aplicados para a segurança dos operadores

De modo a evitar acidentes ou, pelo menos, tentar preveni-los, todo o equipamento se encontra fechado através de placas de acrílico fixas (laterais), móveis (janelas) e redes de segurança. Desta maneira, o acesso ao interior do equipamento fica limitado a todos os operários. À exceção das janelas, que abrem por deslizamento, todas as outras proteções só se conseguem abrir com auxílio das ferramentas, o que deve acontecer apenas em caso de manutenção ou limpeza do equipamento. Se, no caso de alguma manutenção, for necessário experimentar algum componente substituído, é necessário colocar todas as proteções que tenham sido retiradas, caso contrário os sensores irão alertar para a ausência dessas proteções e bloquearão o funcionamento do equipamento.

Na Figura 157 é possível observar-se onde estão colocados os interruptores de segurança.

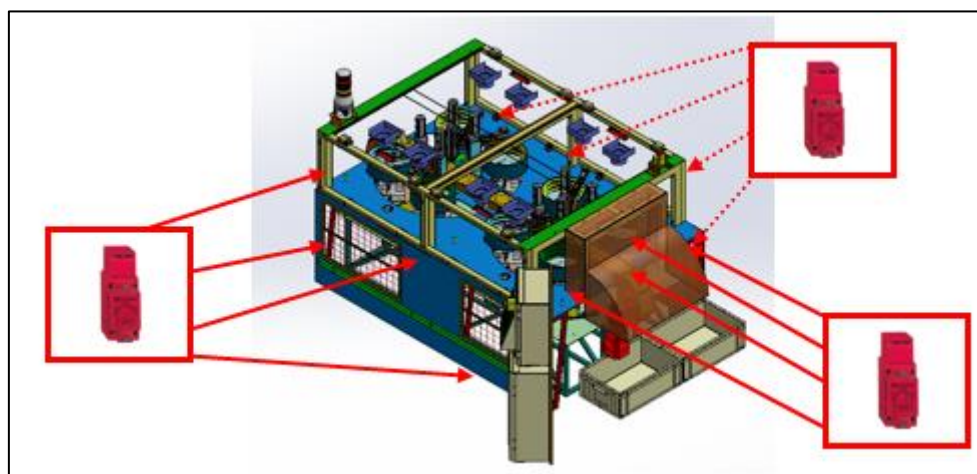


Figura 157 – Localização dos interruptores de segurança para partes fixas.

No caso das janelas, como são móveis, possibilitam o acesso do operário ao interior do equipamento. No entanto, a mobilidade das janelas aumenta a probabilidade de ocorrência de avaria do sensor. Para evitar uma situação de paragem do equipamento em caso dessa avaria, foram aplicados dois sensores por janela (Figura 158); desta forma, caso um sensor avarie, será indicada a informação no menu de erro, mas não afetará o funcionamento do equipamento, dando tempo à empresa de encomendar e instalar um sensor novo. Neste caso particular, o funcionamento do equipamento só será afetado se os dois sensores da janela avariarem no mesmo espaço de tempo.

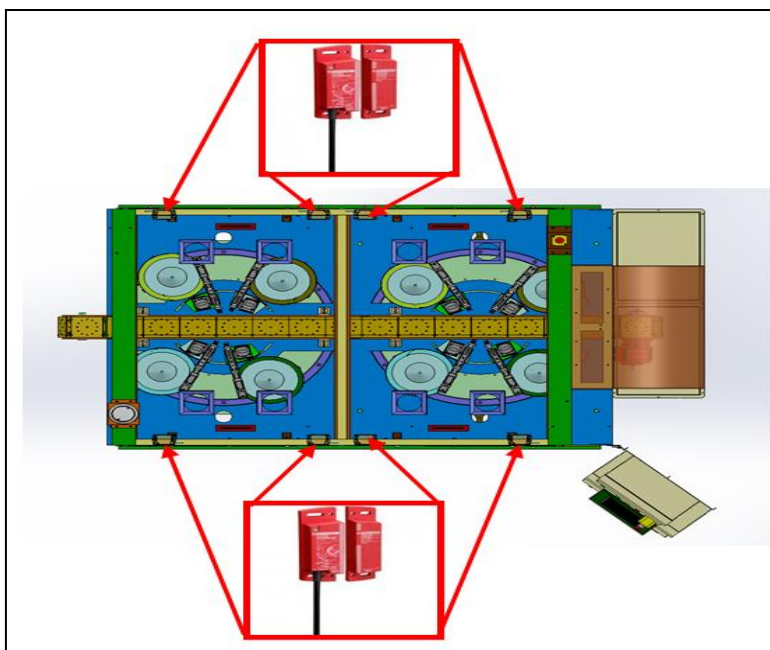


Figura 158 – Localização dos sensores de proximidade para partes móveis.

No Posto 3, uma das chapas de acrílico tem uma forma de 1/4 de um cilindro, como se pode observar na Figura 159, de modo a proteger o operário quando este retirar o caixote cheio de carcaças. Com isto, evita-se que a passadeira fira o operário com os gabaritos e evita-se que a passadeira se danifique.

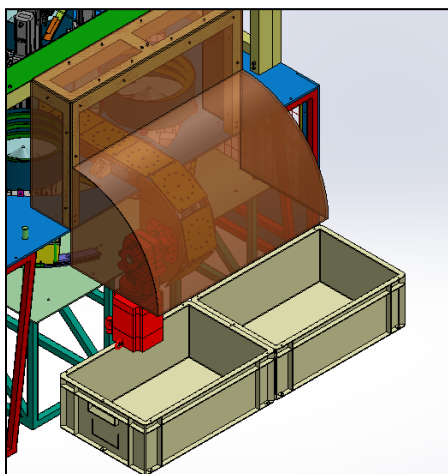


Figura 159 – Proteção para passadeira.

Por fim, os botões de paragem de emergência apenas devem ser acionados em caso de perigo para os operários ou para o próprio equipamento e não é aconselhável que sejam utilizados para desligar o equipamento. Ao pressionar estes botões, todos os sistemas serão interrompidos instantaneamente na posição em que se encontram. Uma vez imposto um *shut down*, é necessário remover do equipamento todos os componentes, desde acessórios a carcaças, sendo necessário também voltar a programar o equipamento. Contudo, antes de reativar o funcionamento, é importante verificar possíveis danos no mesmo.

Na Figura 160 pode-se observar a localização de ambos os botões de emergência.

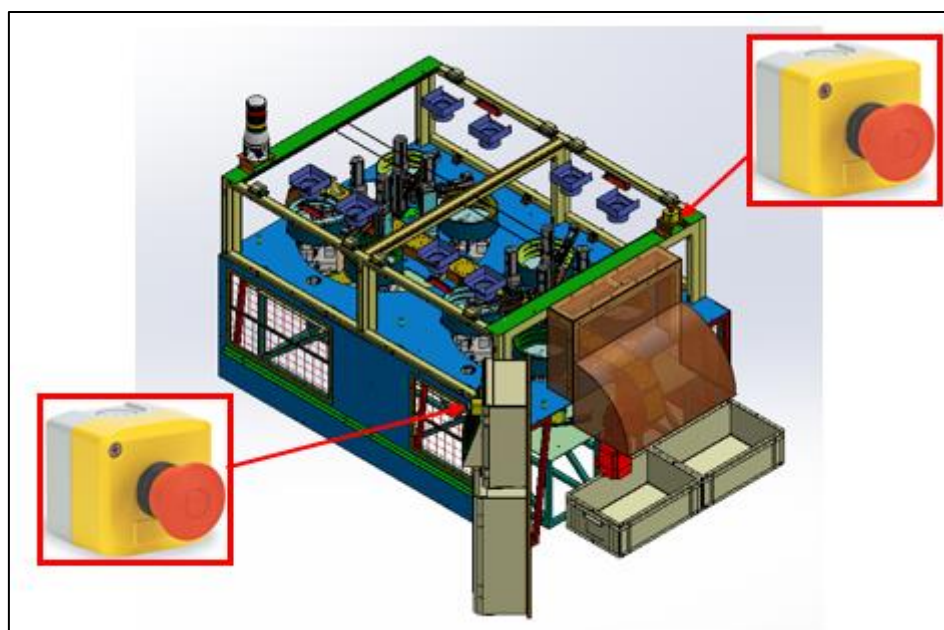


Figura 160 – Localização dos botões de paragem de emergência para partes móveis.

A sinalização de segurança (Figura 161), apesar de não ser considerada um sistema de segurança direto para o operário e para a máquina, não podia deixar de ser referida e incluída neste equipamento, tendo como objetivo avisar as pessoas de possíveis perigos, obrigações e proibições. No caso do quadro elétrico, este deverá possuir um sinal de perigo de choque elétrico.

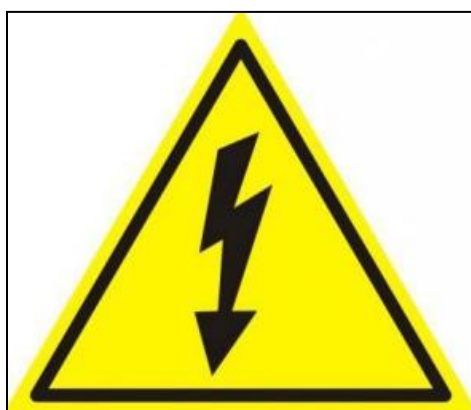


Figura 161 – Aspeto da etiqueta de perigo de choque elétrico (webarcondicionado.com.br).

3.7 Lista de peças, componentes e dispositivos

Na Tabela 32 serão apresentada a lista de peças, componentes e dispositivos, bem como a sua designação, fornecedor e referência e a sua localização no equipamento desenvolvido.

Tabela 32 – Lista de componentes






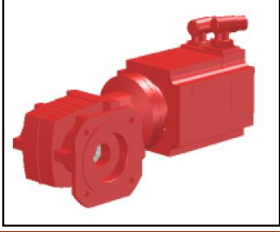
Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Eletrônico			
	Sensor de proximidade	Fornecedor: Schneider Electric Referência: XCSDM379110	Estrutura superior
	Interruptor de segurança	Fornecedor: Schneider Electric Referência: XCSA501	Estrutura superior Mesa
	Botão de emergência	Fornecedor: Schneider Electric Referência: XALK178	Estrutura superior Quadro elétrico
	Torre luminosa	Fornecedor: Schneider Electric Referência: XVC1M2HK	Estrutura superior
	Mesa vibratória linear	Fornecedor: Automation Devices, Inc Referência: T-8Inline/5100	<i>Hoppers</i>
	Servomotor redutor	Fornecedor: SEW - Eurodrive Referência: WAF37CMP80S/KY/RH1M/SM1	Passadeira Indexada




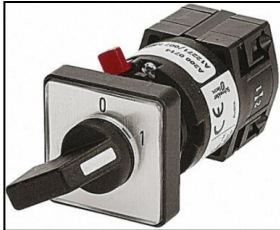



Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Eletrónico			
	Mesa vibratória	Fornecedor: Vibromatic Referência: 8CCW	Posto 1 Posto 2
	Mesa vibratória linear	Fornecedor: Afag Referência: 15105783	Posto 1 Posto 2
	<i>Fork sensor</i>	Fornecedor: Schneider Electric Referência: XUYFANEP400300	Posto 1 Posto 2
	Comutador de came	Fornecedor: Schneider Electric Referência: K10B002ACH	Quadro elétrico
	LED de sinalização	Fornecedor: Schneider Electric Fornecedor: Harmony XVL	Quadro elétrico
	LCD	Fornecedor: Schneider Electric Referência: HMIGTW5354	Quadro elétrico
	Módulo de paragem de emergência	Fornecedor: Schneider Electric Referência: XPSAK311144	Quadro elétrico

Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Eletrónico			
	Arrancador combinado	Fornecedor: Schneider Electric Referência: GV2DM104P7	Quadro elétrico
	Disjuntor- 160A -3 polos	Fornecedor: Schneider Electric Referência: 28600	Quadro elétrico
	Transformador	Fornecedor: Schneider Electric Referência: ABT7ESM004B	Quadro elétrico
	Ficha	Fornecedor: Schneider Electric Referência: PKE16M414	Quadro elétrico
	Prolongamento do veio	Fornecedor: Schneider Electric Referência: VZ17	Quadro elétrico
	Tubo anelado	Fornecedor: Leroy Merlin Referência: ICTA 3321	Geral

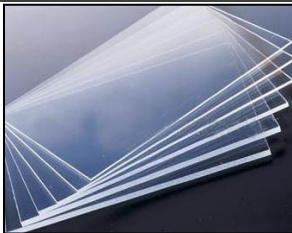
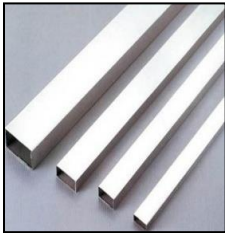





Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Estrutural			
	Painéis de PMMA	Fornecedor: Sove Referência: LZ-ACRPO003	Estrutura superior
	Tubo galvanizado	Fornecedor: Chagas Referência: ---	Mesa Estrutura superior
	Chapas metálicas	Fornecedor: Chagas Referência: S235	Geral
	Chapas aço inoxidável	Fornecedor: Mercainox Referência: AISI 304	Geral
	Poliamida 6.6	Fornecedor: Sove Referência: ---	Passadeira indexada Geral
	Veios de cromoníquel	Fornecedor: Osório e Castro, Lda. Referência: ---	Mesa Posto 1 Posto 2
	Parafusos DIN 912	Fornecedor: Cunha & Mendes Cunha, Lda. Referência: ---	Geral




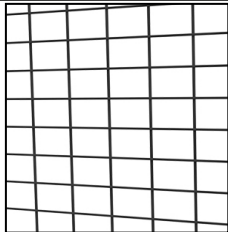

Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Estrutural			
	Anilhas DIN 125	Fornecedor: Cunha & Mendes Cunha, Lda. Referência: ---	Geral
	Porcas DIN 934	Fornecedor: Cunha & Mendes Cunha, Lda. Referência: ---	Geral
	Puxador	Fornecedor: Rohde-technics Referência: MS-06.400.N11	Estrutura superior
	Rede metálica	Fornecedor: Axelent – X-gard Referência: ---	Mesa
	Dobradiça	Fornecedor: Elesa Referência: CMM-AL-60-SH-8	Quadro elétrico
	Mola	Fornecedor: Raymod Referência: 303-204-D	Gabarito


Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Estrutural			
	Mola	Fornecedor: Raymod Referência: 21750-x	Gabarito
	Hopper	Fornecedor: Automation Devices, Inc Referência: 5500A	Hoppers
	Roda com travão	Fornecedor: Reiman Referência: RE.C6-060-SBL	Hoppers
	Mini acoplador	Fornecedor: R+W Referência: MK1/20/26/6/10	Posto 1 Posto 2
	Corrente	Fornecedor: Eurochain Referência: EC-10-M	Passadeira indexada
	Peças em L para corrente	Fornecedor: Eurochain Referência: EC-2030.2	Passadeira indexada
	Chumaceira	Fornecedor: SNR Referência: ESF 204	Passadeira indexada






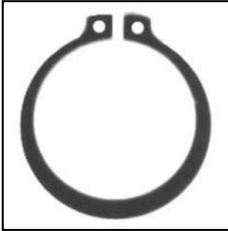
Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Estrutural			
	Tensor	Fornecedor: Murtgeldt Referência: 281030001	Passadeira indexada
	Rolamento de agulhas	Fornecedor: SKF Referência: NA4904	Passadeira indexada
	Anel elástico interno DIN 472	Fornecedor: Rolisa Referência: Diâmetro: 37 mm Espessura: 1,6 mm	Passadeira indexada
	Mola de extensão	Fornecedor: Raymod Referência: T40900-x	Posto 1 Posto 2
	Rolamento de esferas	Fornecedor: SKF Referência: F6700ZZ	Posto 1 Posto 2
	Anel elástico exterior DIN 471	Fornecedor: Rolisa Referência: Diâmetro: 10 mm Espessura: 1,1 mm	Posto 1 Posto 2







Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Estrutural			
	Roda dentada	Fornecedor: Eurochain Referência: 011-015-030	Passadeira indexada
	Armário metálico 600 mm x 400 mm x 250 mm	Fornecedor: Schneider Electric Referência: NSYCRN64250P	Quadro elétrico
	Armário metálico 800 mm x 600 mm x 200 mm	Fornecedor: Schneider Electric Referência: NSYCRN86200P	Quadro Pneumático
	Caixote de plástico	Fornecedor: Allibert Referência: 600 mm x 400 mm x 200 mm	Geral
	Tubo flexível	Fornecedor: Vougaflex Referência: 51 (Diâmetro 110 mm)	Posto 1 Posto2
	Rolamento de esferas	Fornecedor: SKF Referência: 618/6 SKF	Posto 1 Posto 2


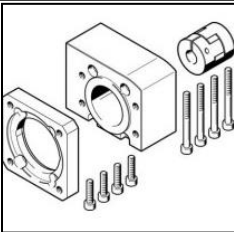


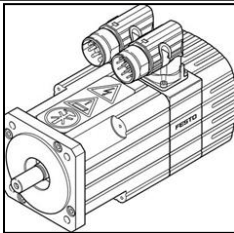


Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Elétrico (Automação)			
	Módulo giratório	Fornecedor: FESTO Referência: EHMB-32	Passadeira Indexada
	Conjunto Axial	Fornecedor: FESTO Referência: EAMM-A-D60-87-A	Passadeira indexada
	Servomotor	Fornecedor: FESTO Referência: EMMS-ST-87-L-S-G2	Passadeira indexada
	Controlador	Fornecedor: FESTO Referência: CMMP-AS-C2-3A-Mx	Quadro elétrico
	Servomotor	Fornecedor: FESTO Referência: EMME-AS-70-S-HV-RSB	Posto 1 Posto2
	Redutor 5:1	Fornecedor: FESTO Referência: EMGA-60-P-G5-SAS-70	Posto 1 Posto 2
	Controlador	Fornecedor: FESTO Referência: CMMP-AS-C5-11A-P3-Mx	Quadro elétrico

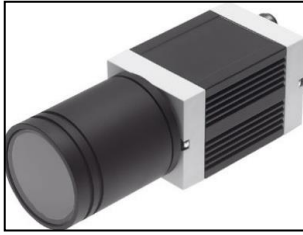


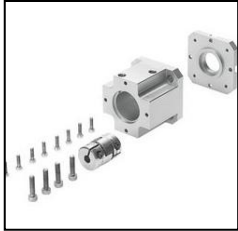

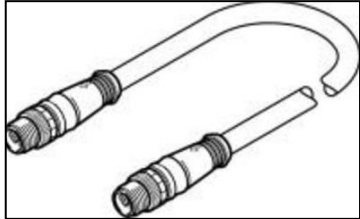
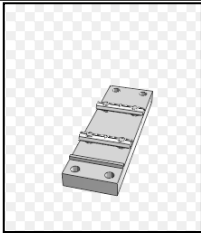
Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Elétrico (Automação)			
	Câmara de inspeção	Fornecedor: FESTO Referência: SBOC-Q-R2C	Posto 3
	Conjunto adaptador	Fornecedor: FESTO Referência: SBOA-HMSV-39	Posto 3
	Eixo mecânico	Fornecedor: FESTO Referência: EGC-70-TB-KF-GK	Posto1 Posto 2
	Kit axial	Fornecedor: FESTO Referência: EAMM-S-D38-42A	Posto 1 Posto 2
	Servomotor	Fornecedor: FESTO Referência: EMMS-ST-42-S-SE-G2	Posto 1 Posto 2
	Cabo de conexão	Fornecedor: FESTO Referência: NEBC-S1G25-K-5.0-N-S1G25	Geral
	Apoio central	Fornecedor: FESTO Referência: EAHF-L5-80-P	Posto 1 Posto 2




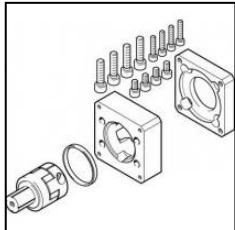










Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Elétrico (Automação)			
	Cabo de conexão	Fornecedor: FESTO Referência: NEBU-M8G3-K-1.5-M8G3	Geral
	Mini garra	Fornecedor: FESTO Referência: HGPM-08-EZ-G6	Posto 1 Posto 2
	Cilindro elétrico com guia	Fornecedor: FESTO Referência: EGSL-BS-45-100-10P	Posto 1 Posto 2
	Kit axial	Fornecedor: FESTO Referência: EAMM-U-60-D32-57A-91	Posto 1 Posto 2
	Servomotor	Fornecedor: FESTO Referência: EMMS-ST-57-S-SE-G2	Posto 1 Posto 2
	Cilindro pneumático	Fornecedor: FESTO Referência: DNC-40-20-PPV	Passadeira indexada
	Tubo flexível	Fornecedor: FESTO Referência: PNU-8X1.25-BL	Geral

Figura da peça ou componente	Designação	Fornecedor e referência	Localização
Material Elétrico (Automação)			
	Conexão roscada	Fornecedor: FESTO Referência: QS-G1/4-8	Geral
	Conexão articulada	Fornecedor: FESTO Referência: SGS-M12X1.25	Passadeira indexada
	Cilindro pneumático com dupla haste	Fornecedor: FESTO Referência: DFM-20-30-P-A-GF	Posto 1 Posto 2
	Unidade combinada (tratamento de ar)	Fornecedor: FESTO Referência: FRC-1/8-D-MINI-KC	Quadro pneumático
	Conjunto de electroválvulas	Fornecedor: FESTO Referência: VUVG-B14-B52-ZT-F-1P3	Quadro pneumático
	Conetor rápido	Fornecedor: FESTO Referência: QSMML-3-3	Geral
	Sensor fibra ótica	Fornecedor: FESTO Referência: SOEZ-LLK-SE-2_0-M4	Posto 1 Posto 2

3.8 Considerações finais sobre o equipamento

3.8.1 Movimentação do equipamento

Na eventualidade de ser necessário movimentar o equipamento, devido à mudança de instalações ou devido a alterações do *layout* da fábrica, este deverá ser parcialmente desmontado, ou seja, deve-se desmontar o equipamento por subconjuntos, seguindo uma ordem inversa à da Tabela 16.

Apesar de ser uma alteração demorada, devido ao tempo gasto na desmontagem do equipamento, a movimentação do mesmo não apresenta perigos consideráveis para os operários. Contudo, durante a alteração, é aconselhável tomar as devidas precauções para evitar acidentes, como por exemplo ferir algum operário ou danificar os subconjuntos. Para finalizar, todos os subconjuntos, após serem desmontados, devem ser bem acomodados em cima de paletes de madeira ou de plástico e protegidos contra possíveis danos.

3.8.2 Torre luminosa

Colocou-se uma torre luminosa e sonora, para informar o operário responsável pelo equipamento – ou algum operário que se encontre na área junto ao equipamento – de alguma anomalia técnica, ou possível erro, que tenha ocorrido. As informações associadas às cores da torre são:

- Amarelo com sinal sonoro intermitente – Informa o operário de alguma anomalia menos importante, como um sensor de uma janela, a falta de acessórios ou as informações do Posto 3 relativamente a carcaças rejeitadas;
- Vermelho com sinal sonoro constante – Informa o operário de algum problema grave e da paragem do equipamento, devido a algum botão de emergência ter sido pressionado ou a alguma proteção ter sido aberta.

Nota: O sinal sonoro deverá ser audível em meios fabris, mas nunca entrar no limiar na dor, para não causar danos auditivos aos operários.

3.8.3 Manutenção/Limpeza

O nível de cuidado com os equipamentos afeta diretamente a durabilidade dos mesmos. Por isso, a manutenção deverá ser realizada periodicamente, de modo a evitar situações indesejadas.

Como já foi dito anteriormente, todas as atividades de manutenção e limpeza deverão ser realizadas com o equipamento desligado da fonte de energia.

Durante a manutenção, e para evitar que alguém ligue o equipamento, deverá ser instalado um sistema para bloquear as fontes de energia ou o comutador com equipamento de segurança *Lockout Tagout* (Figura 162). Assim, com recurso a este tipo de equipamento, ao fazer a manutenção da máquina, o operário estará sempre seguro, pois só ele conseguirá desbloquear o sistema de segurança.



Figura 162 – Sistemas de segurança *Lockout Tagout* (ecsconsultorias.com).

Contudo, a manutenção e a limpeza não deverão ser realizadas apenas quando o equipamento estiver avariado ou visivelmente encardido, pois isso diminuirá a longevidade do mesmo. Como tal, uma manutenção preventiva é sempre uma ação a tomar para conservar o estado do equipamento.

Este equipamento terá tendência a acumular alguma sujidade, pelo facto de os acessórios de borrachas terem que ser humedecidos com água e sabão ou outro tipo de líquido que não afete a borracha, como já foi referido. A passadeira necessita de ser lubrificada, pelo que deverá ser usada massa lubrificante. Outra hipótese seria a lubrificação através de óleo, mas isso provocaria mais sujidade e a durabilidade do óleo, comparativamente à massa lubrificante, é menor.

Como se trata de um equipamento que possui subconjuntos em rotação e cilindros em constante movimento, é estritamente proibido o uso de panos que larguem fios provenientes dos desperdícios, sendo a melhor opção a utilização de papel de limpeza industrial (Figura 163). Outro aspeto a ter em atenção é em não deixar objetos estranhos dentro dos equipamentos para não danificar os mesmos.



Figura 163 – Papel de limpeza industrial (dimatur.pt).

Em suma, toda a manutenção e limpeza deverão ser realizadas regularmente e deverá haver registos do que foi realizado. No Anexo VI, encontra-se um exemplo de uma ficha de manutenção e limpeza.

3.8.4 Reaproveitamento do material

Caso o equipamento se torne obsoleto, isto é, que não traga mais vantagens para o processo e para a empresa devido ao aparecimento de novas referências de carcaças e ao desaparecimento das já existentes, será necessário desmontar o equipamento e mandar para a sucata todo o material que já não tiver utilidade futura. Contudo, algum material poderá ser reutilizado noutros equipamentos (material de substituição) ou poderá servir para criar novos equipamentos (reaproveitamento e aplicação em novos equipamento), como o caso dos cilindros, eixos elétricos e câmara de inspeção. Algumas chapas metálicas, poliamida 6.6, inox e alumínio poderão ser vendidas para a sucata, obtendo algum retorno de capital, ou reaproveitadas para outros equipamentos. Em suma, mesmo tornando-se obsoleto, o equipamento projetado trará ainda vantagens para a empresa.

3.9 Estimativa de custos para o equipamento

Na Tabela 33 encontra-se resumidamente o orçamento para este equipamento, Contudo, no anexo VII encontra-se um orçamento detalhado com todos os componentes, bem como referências e respetivos preços.

Tabela 33 – Custo final do equipamento.

Descrição do tipo de material	Custo do material (Euros)
Material elétrico	5.783,35 €
Material de fixação	246,65 €
Material mecânico	2.779,97 €
Material FESTO (Automação)	85.023,70 €
Material estrutural	40.000 €
Custo final do equipamento	133.833,67 €

É importante referir dois aspetos fundamentais: que todos os montantes carecem do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA); os montantes assinalados com "*" tratam-se de equipamentos importados dos Estados Unidos da América e, infelizmente, até à data ainda não se obteve resposta por parte das empresas que comercializam este tipo de equipamentos. Como tal, são apenas estimativas.

3.10 Características finais globais do equipamento projetado

O equipamento desenvolvido para introdução de borrachas e carcaças possui uma elevada flexibilidade para se adaptar e posicionar, para produzir um leque vasto de referências, sendo algumas destas bastante complexas quanto à sua geometria e dimensões. Mesmo com diferenças de planos, os alimentadores vibratórios têm a capacidade de se movimentar verticalmente.

É bastante ágil ao nível dos *setups*, pois caso se pretenda alterar o tipo de carcaça a produzir durante um processo já a decorrer, o tempo que é despendido por este equipamento para se autoconfigurar é mínimo.

Este equipamento foi desenvolvido para carcaças plásticas. No entanto, também podem ser fabricadas carcaças de alumínio mas, para isso, é necessário que o sistema de alimentação sofra algumas alterações para que este não sofra danos significativos, visto que o peso das carcaças de alumínio – quando comparado com as de plástico – é significativamente maior.

Durante o desenvolvimento deste equipamento decidiu-se aplicar mais um alimentador do que os que são necessários. No presente momento, são apenas precisos três alimentadores, mas como a indústria automóvel está em constante crescimento e alteração, na eventualidade de aparecer uma referência com quatro acessórios o equipamento tem capacidade suficiente para cumprir com a produção.

Relativamente à qualidade, com o sistema adotado, o controlo será mais eficiente quando comparado ao controlo realizado por um ser humano.

O número de trabalhadores foi reduzido para zero, salvo se o alimentador de carcaças apresentar algum problema técnico. Neste caso, durante o tempo de reparação, para que o equipamento não deixe de produzir, as carcaças podem ser colocadas na passadeira pelo operário.

No Anexo IV, como já foi referido, encontram-se todas as simulações realizadas, onde se podem confirmar os tempos de deslocamento, ciclo e espera para cada componente. Contudo, todas essas simulações realizadas no *software* FESTO *Positioning Drives* são realizadas para os cursos

máximos, ou seja, tomando como exemplo o eixo elétrico controlado por um servomotor, que possui um curso de 100 mm e o *software* determina o tempo de ciclo para um curso de 100 mm. Porém, durante o seu funcionamento, este eixo elétrico terá que se descolar cerca de 40 mm, logo o tempo de ciclo será consideravelmente menor.

Isto para informar que os dados das Tabelas seguintes (34, 35, 36 e 37) estão de acordo com a pior situação, ou seja, para os cursos máximos efetivos e, como se sabe, dadas as diferentes referências, o deslocamento do êmbolo irá variar.

Nas Tabelas 34 e 35 está representado o tempo de funcionamento referente a cada componente do Posto 1 e Posto 2. Como se sabe, em ambos os postos todos os componentes trabalham em simultâneo – introdução de borrachas e casquilhos – ou seja todos os acessórios de borracha são introduzidos ao mesmo tempo, assim como os casquilhos.

Como se pode verificar, o Posto 2 (Tabela 35) é mais moroso que o Posto 1 (Tabela 34). Assim sendo, o tempo que deve ser considerado como tempo de fabrico é o do Posto 2.

É necessário que o tempo de espera – representado a amarelo – seja contado como movimento do cilindro, pois este só irá fazer o próximo movimento quando o tempo de espera acabar. Porém, os últimos 0,2 s do Posto 2, referentes ao recuo do cilindro, não podem ser contabilizados, pois nesse momento a passadeira está em movimento e como tal o tempo de intervalo coincide com o tempo de funcionamento da passadeira. Relativamente à passadeira, o movimento contínuo significa que esta está sempre a trabalhar (vermelho). Contudo, movimenta-se num período de 1 s, voltando a repetir o movimento apenas quando os *pick-and-place* terminarem as suas funções (introdução de acessórios). Tudo o que estiver marcado a verde significa que são movimentos instantâneos, ou sejam, movimentos difíceis de captar a olho nu (Figura 164).

Na Tabela 38 pode-se encontrar a comparação entre a cadência do processo atual – realizado exclusivamente de forma manual – e a cadência de peças do equipamento projetado.

Tabela 38 – Comparação de cadências

	Valores atuais	Valor obtidos
Tempo de ciclo (s)	aprox. 22	3,6
Cadência (peças/hora)	aprox. 163	1000

Um operário precisa aproximadamente de 22 s para montar uma carcaça e, ao fim de uma hora, este terá produzido aproximadamente 163 unidades. No entanto, este processo pode variar consoante a motivação, o cansaço ao longo do dia e a pessoa. Mais uma vez, é importante referir que os valores obtidos são ligeiramente superiores à realidade, pois esta análise consiste num estudo para a pior situação – tempo estimado para o curso máximo dos atuadores.

Este equipamento, para o pior cenário, precisa de 3,6 s para montar uma carcaça. Com esta melhoria, este equipamento irá aumentar cerca de 613,5% a cadência quando comparado à produção de um operário. Eram necessários cerca de seis operários para conseguir obter a mesma produção por hora que este equipamento consegue.

3.11 Alimentador de carcaças – Uma ideia em construção

Para alimentar este equipamento com carcaças, pensou-se em aplicar um alimentador vibratório com dimensões consideráveis, de modo a que as carcaças possam ser depositadas e seguir pela calha (Figura 165).

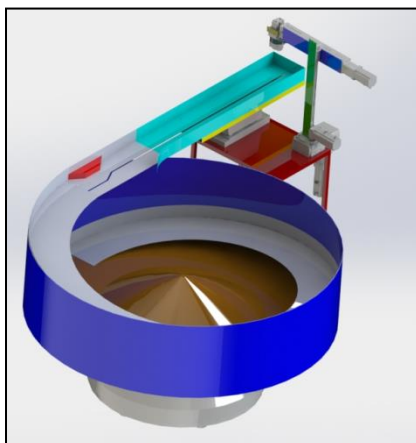


Figura 165 – Alimentador vibratório para carcaças.

As carcaças podem ter duas posições, sendo uma correta e outra errada, como se pode observar na Figura 166.

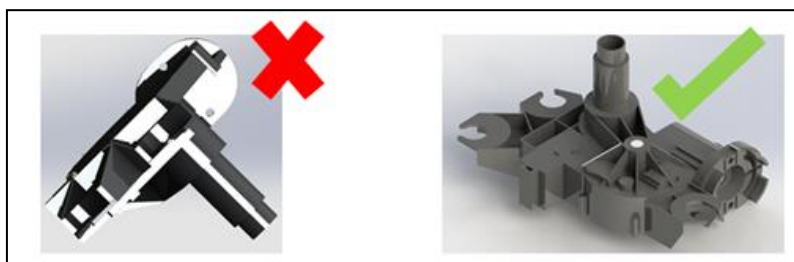


Figura 166 – Carcaças: Posição errada vs. Posição correta.

No caso de as carcaças estarem corretamente posicionadas, estas irão seguir o caminho até ao final. Caso estejam na posição errada, serão eliminadas, sendo recolocadas de imediato no reservatório.

Para garantir que estas não caem após passarem a fase eliminatória, a calha possui um rasgo para que o pino metálico da carcaça encaixe nele, garantindo que a peça siga sempre pelo meio da calha, como se pode verificar na Figura 167.

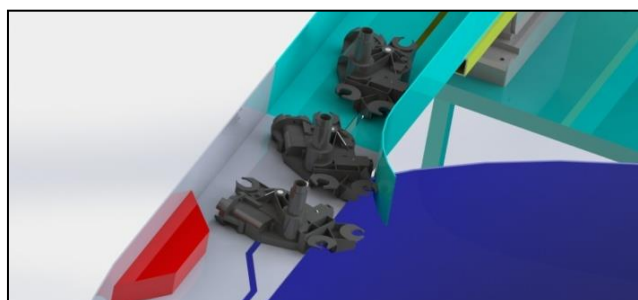


Figura 167 – Calha com rasgo para guia.

Como se pode verificar na Figura 167, as carcaças podem adotar variadíssimas posições. Então, com recurso a uma chapa dobrada, as carcaças vão ser alinhadas, fazendo com que apenas adotem duas posições possíveis. Porém, para confirmar a posição da carcaça, aplicou-se uma câmara de inspeção, que dará as coordenadas ao *pick-and-place* rotativo para que este saiba a posição que deve tomar para conseguir pegar na carcaça (Figura 168).

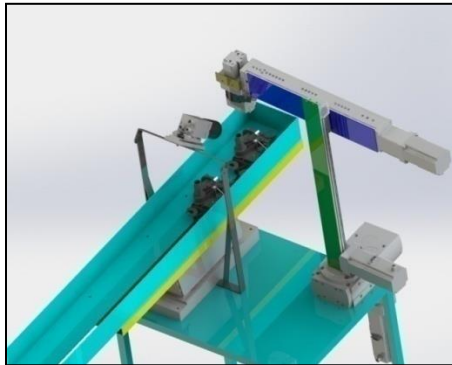


Figura 168 – Câmara de inspeção e pick-and-place rotativo

No Anexo VIII podem-se encontrar todas as justificações das soluções adotadas, desde fichas técnicas a simulações dos componentes selecionados e tempos de ciclo dos componentes que formam o *pick-and-place*.

3.12 Vantagens e possíveis limitações do equipamento projetado

Ao longo deste tópico, serão apresentadas todas as vantagens e limitações deste equipamento. As vantagens são:

- O equipamento desenvolvido ficou com a flexibilidade desejada, visto que este é ágil e ajustável às várias referências já existentes e a outras que possam aparecer, desde que possuam no máximo quatro acessórios e o mesmo método de introdução de acessórios;
- O tempo de *setup* é bastante reduzido, pelo que, ao mudar de referência, o equipamento não necessita de voltar a uma posição inicial;
- Tempo de produção bastante reduzido;
- Redução significativa e/ou eliminação dos operários para realizar esta produção;
- Aumento da qualidade de produção, visto que a inspeção visual é mais rigorosa;
- Capacidade de adaptação;
- O equipamento desenvolvido pode montar os acessórios tanto em carcaças plásticas, como em carcaças de alumínio;
- Facilidade e rapidez de aquisição de equipamentos para substituição em caso de avaria, visto todos os componentes serem normalizados;

- Controlo totalmente eletrónico de praticamente 90% do equipamento;
- Facilidade na alteração da sequência de movimentos, visto que estes podem ser completamente alterados ou acrescentar uma nova sequência através de atualizações;
- O retorno do custo do equipamento é bastante rápido.

Tabela 39 – Total gasto de salários por mês em euros

	Montante	N.º de funcionários necessários para a produção atual	TOTAL (Euros)
Salário Base Bruto (Euros)	530 €	4	2.120 €/Mês

Tabela 40 – Estimativa de tempo de retorno

	Montante	Tempo de retorno
Custo do equipamento (Euros)	133.833,67 €	Aprox. 64 Meses
Total de salários (Euros)	2.120 €/Mês	

Através da análise das Tabelas 39 e 40, verifica-se que são necessários aproximadamente 64 meses para obter o retorno total do equipamento desenvolvido, contabilizando apenas os valores envolvidos no pagamento dos salários dos funcionários ao mês. É importante referir que os valores apresentados nas Tabelas anteriores são estimativas, pois falta contabilizar o custo de produção deste setor (montagem de acessórios nas carcaças dos limpa para-brisas) e relacioná-lo com o incremento de lucro da empresa (associado ao aumento da cadência de produção).

Resta, por fim, referir as limitações do equipamento:

- Necessária uma limpeza regular, visto que as borrachas necessitam de ser lubrificadas para facilitar a sua introdução nas carcaças e posteriormente os casquilhos nas borrachas;
- Funcional apenas para carcaças com quatro ou menos acessórios;
- Alguns componentes definem o tempo de paragem do equipamento, pois se alguns avariarem (como a passadeira indexada), o equipamento é obrigado a parar até que a reparação seja concluída;

- As carcaças plásticas podem sofrer danos no alimentador vibratório durante a alimentação das mesmas;
- O alimentador de carcaças pode sofrer danos com a queda das mesmas (sejam de plástico ou alumínio);
- Devido à vibração do alimentador, as carcaças podem provocar ruídos incomodativos para todos os operários da empresa;
- Custo de aquisição considerável.

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES

A automação desempenha um papel muito importante no setor industrial. A aplicação de equipamentos automatizados influencia o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos produzidos, bem como se traduz numa redução dos custos associados à produção dos mesmos. No setor automóvel, aspetos como cumprir com os prazos de entrega, reduzir os custos de produção e produzir componentes com qualidade tornam-se cada vez mais importantes, uma vez que nos dias de hoje a competitividade é bastante elevada.

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento totalmente flexível e capaz de se adaptar a várias referências e de substituir o processo utilizado hoje em dia (totalmente manual).

Contudo, quando se realiza um projeto de uma máquina, neste caso em particular um equipamento industrial, o objetivo principal carece de um estudo cuidado para que o equipamento cumpra todos os requisitos impostos, tais como: funcionalidade, níveis de produção, qualidade, redução de custos e segurança, principalmente para os operadores mas também para o próprio equipamento.

Os aspetos referidos anteriormente foram cuidadosamente analisados para que todos eles fossem considerados durante o desenvolvimento do projeto do equipamento e nesta dissertação.

Em seguida, serão apresentados todos os objetivos inicialmente apresentados e de que forma foram cumpridos com sucesso. São eles:

- O equipamento é totalmente flexível e capaz de dar resposta a todas as referências de carcaças existente;
- Este equipamento pode ser usado tanto na produção de carcaças plásticas como na de carcaças de alumínio;
- Como se trata de um equipamento totalmente automatizado, a montagem dos acessórios nas carcaças é realizada sem recurso à presença humana, sendo esta apenas necessária para a alimentação dos componentes e para ativar o equipamento;
- Apesar de o controlo de qualidade ser realizado por uma câmara de inspeção e das carcaças serem depositados todas no mesmo caixote, com os parâmetros impostos o equipamento irá parar a sua produção e avisar o operador quando algo de errado se passar com a linha de produção, evitando assim um excesso de carcaças mal montadas;

- Os tempos de *setup* e de ciclo de montagem foram reduzidos drasticamente, tornando este equipamento bastante competitivo;
- O custo associado ao equipamento é rapidamente retornável, apenas com a redução dos operadores envolvidos no processo, pois são necessários cerca de seis operários para equiparar a produção realizada por este equipamento;
- O número mínimo de 1000 peças/hora, exigido pela empresa, foi cumprido, conseguindo assim um melhoramento de rendimento de aproximadamente 600%.

Como verificado anteriormente, todos os requisitos impostos foram cumpridos, podendo assim afirmar-se que o equipamento se encontra pronto para ser fabricado. No entanto, esta afirmação depende da avaliação posterior da empresa devido ao custo associado ao equipamento desenvolvido.

Durante o desenvolvimento do equipamento, aplicaram-se métodos para garantir a segurança dos operadores, evitando assim acidentes.

A fase do anteprojeto foi bastante importante para o desenvolver deste projeto. Durante esta fase inicial, apesar do turbilhão de ideias iniciais, previram-se algumas situações que poderiam pôr em causa todo o projeto final, como por exemplo o dimensionamento do equipamento de modo a aumentar a flexibilidade de produção e eliminar possíveis colisões ou restringir a produção a determinadas referências de carcaças.

Apesar do custo estipulado para a fabricação deste equipamento, é também importante referir que alguns equipamentos podem ser reutilizados quando este equipamento atingir o seu limite de vida útil.

Neste projeto e como em todos os outros, a melhoria contínua está sempre implícita, pois existe sempre maneira de otimizar um processo ou um equipamento. Neste projeto, existem algumas otimizações que podem ser realizadas, tais como aumentar o número de alimentadores no caso de aparecerem referências com mais de quatro acessórios (borrachas e casquilhos), otimizar os *pick-and-place* de modo a que estes consigam alterar a posição da mini garra na necessidade de introduzir acessórios em diferentes planos. Por fim, resta falar da otimização do alimentador de carcaças, pois este irá atrasar o tempo de ciclo do equipamento para introdução de borrachas e casquilhos. Em suma, esta otimização deverá ter como finalidade ajustar o tempo de alimentação das carcaças para o tempo de ciclo do equipamento. Como já foi referido anteriormente, o sistema utilizado passa por um alimentador vibratório, o que irá provocar elevados níveis de ruído durante o seu funcionamento e será incomodativo para o operador responsável pelo equipamento e para os outros operadores que se encontram na área em volta deste equipamento.

De um modo geral, este projeto cumpriu com o que foi imposto, sendo deste modo bastante gratificante a realização desta dissertação, por ter conseguido transformar todas as ideias em algo prático.

Para finalizar, é importante referir que o desenvolvimento de novos equipamentos industriais ou a sua otimização não implica o despedimento dos operadores que anteriormente constituíam o processo. Pode-se ver esta situação como uma melhoria contínua para a empresa e/ou para os operadores, pois estes podem aumentar o seu nível de conhecimento – investindo em formações – tornando-se mais vantajosos para a empresa, uma vez que todos os equipamentos necessitam sempre de manutenção e de melhorias, como já foi referido.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.2 OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 Referências Bibliográficas

Abreu, Mário. 1995. *As actividades de I&DT da indústria portuguesa*. O Economista - Anuário da economia portuguesa, N.º8, 1995, p.3.

- Revista

Alves, T. D. S. 2005. *Automação Industrial II*. 2005.

- *Apontamentos da Escola Superior de Tecnologia de Abrantes*.

Anupindi, R., Chopra, S., Deshmukh, S. D., Van Mieghem, J. A. e Zemel, E. 1998. *Managing Business Process Flows*. EUA: Simon & Schuster Custom Publishing, 1998.

- ISBN: 978-0-13-603637-1

Araújo, W., Silva, F. G. S. e Campilho, R. D. S. G. 2016. *Manufacturing cushions and suspension mat for vehicle seat: a novel concept*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Impressed. 2016

- DOI: 10.1007/S00170-016-9475-6

Ashby, Michael. 2010. *Materials Selection in Mechanical Design*. Fourth Edition. Oxford: Elsevier, 2010. Cap. 2, p. 15-29.

- ISBN: 9781856176637

Borges, F. 2008. *O que é um PLC – Centro de Formação, Schneider Electric Portugal*, 2008.

- Apresentação

Brito, Carlos. 1998. *A insustentável leveza do marketing*. Porto: Faculdade de Economia da Universidade do Porto, 1998.

- Publicação/Artigo Científico

Brito, Luís. 2014. *Desenvolvimento de um equipamento dedicado à montagem de componentes para elevação de vidros em automóveis*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto, 2014.

- Dissertação de Mestrado

Costa, Mário. 2014. *Optimização do processo de fabrico de componentes para a indústria automóvel*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto, 2014.

- Dissertação de Mestrado

ElMaraghy, W., ElMaraghy, H., Tomiyama, T. e Laszlo, M. 2012. *Complexity in Engineering Design and Manufacturing*. s.l.: Elsevier, 2012.

- Publicação/Artigo Científico

Felizardo, José R. 2004. *Apresentação INTELI: A Indústria Automóvel em Portugal – Elementos de Reflexão para o Futuro*. Lisboa: INTELI, 2004.

- Publicação/Artigo Científico

Fonseca, Luís. 2013. *Organização Industrial II*. Abril de 2013.

- Apontamentos do Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto.

Fonseca, Luís. 2013. *Gestão de Qualidade, Ambiente e Segurança*. Setembro de 2013.

- Apontamentos do Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto.

Groover, Mikell P. 2000. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Segunda Edição. (s.l.): Prentice Hall, 2000

- ISBN: 0130889784

Holweg, Matthias. 2008. *The Evolution of Competition in the Automotive Industry*. Cambridge: Springer, 2008, pp. 13-14

- ISBN: 978-1-84800-225-8

Hu, Jack. 2013. *Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization*. EUA: Elsevier, 2013.

- Publicação/Artigo Científico

IBM. 2009. *Requirements engineering for the automotive industry*. EUA: IBM, 2009, pp. 1-12

- Publicação/Artigo Científico

Inácio, M. J. 2009. *Engenharia de Controlo e Automação*, 2009.

INTELI. 2005. *Diagnóstico da Indústria Automóvel em Portugal*. (s.l.): INTELI, 2005.

- Publicação/Artigo Científico

Jocou, Pierre e Lucas, Frédéric. 1992. *No Coração da Mudança: A Qualidade Total como Projecto de Gestão*. Portugal: Edições CETOP, 1992.

- ISBN: 972-641-220-X

Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D. e Chryssolouris, G. 2010. *Automotive Assembly Technologies Review: Challenges and Outlook for a Flexible and Adaptive Approach*. CIRP J. Manuf. Sci. Technol., Vol. 2, N.º2, pp 81-91, 2010.

- Publicação/Artigo Científico

Moniz, António B. 2006. *Competitividade no Sector Automóvel e Formas Inovadoras de Gestão do Emprego em Portugal*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006, pp. 1-24
- Publicação/Artigo Científico

Morais, Simões. 2006. *Desenho Técnico Básico 3*. Porto: Porto Editora.
- ISBN: 978-972-96525-2-3

Nof, Shimon Y. 2009. *Springer Handbook of Automation*. Alemanha: Springer, 2009.
- ISBN: 978-3-540-78830-0

Nunes, P. M. S. e Silva, F. J. G. 2013. *Increasing Flexibility and Productivity in Small Assembly Operations: A Case Study*. s.l.: Springer, 2013, pp. 329-340
- Publicação/Artigo Científico

Oliveira, Nuno. 2009. *A Evolução Organizacional das Empresas Nacionais nas Cadeias de Fornecimento da Indústria de Componentes para o Automóvel*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- Dissertação de Mestrado

Porter, Michael. 1990. *The Competitive Advantage of Nations*. Nova Iorque: Free Press, 1990.
- ISBN: 978-0684841472

Ramos, M. C. e Ribeiro, J. F. 1999. *Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional*, 1999.

Reis, Luís. 2001. *Factores Estratégicos de Desenvolvimento da Indústria de Componentes para Automóvel em Portugal – Os Determinantes da Qualidade das Empresas*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001.
- Dissertação de Mestrado

Rizzo, Esmeralda. 2005. *Uma Análise Comparativa entre o Marketing de Massa e o “One to One” Marketing, no Cenário de Empresas Competitivas*, 2005, pp. 3-20.
- Publicação/Artigo Científico

Santos, A. M. de A. e Silva, A. J. de S. F. da. 2010. *Automação Pneumática*. Segunda Edição. PUBLINDÚSTRIA, 2010.
- ISBN: 978-9897230721

Tansel Iç, Y., Yurdakul, M. e Dengiz, B. 2013. *Development of a decision support system for robot selection*. Robot. Comput. Integr. Manuf., vol. 29, N.º4, pp. 142-157, 2013.
- Publicação/Artigo Científico

Ulrich, K. and Eppinger, S. 1995. *Product Design and Development*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1995.

- ISBN: 978-0078029066

Veloso, F., Chris, H. e Roth, R. 2000. *Can Small Firms Leverage Global Competition? The Portuguese Automotive Supplier Industries*. EUA: Massachusetts Institute of Technology, 2000.

- Publicação/Artigo Científico

Wilson, Jon S. 2005. *Sensor Technology Handbook*. Elsevier, 2005.

- ISBN: 978-0-7506-7729-5

5.2 Outras Fontes de Informação

[Online]. Disponível em: <http://adp8asom.no.sapo.pt/niveis%20de%20ruído.htm> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

[Online]. Disponível em: <http://www.arteaevento.com.pt/molinologia/moinhos-de-vento/> [Acedido a: 2 de dezembro de 2015].

[Online]. Disponível em: pt.slideshare.net [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

[Online]. Disponível em: pt.wikipedia.org [Acedido a: 17 de maio de 2016].

AEP – Câmara do Comércio e Indústria. Norma 16949. [Online]. Disponível em: <http://www.aeportugal.pt/Inicio.asp?Pagina=/Areas/Qualidade/FerramentasQualidadeNorma16949&Menu=MenuQualidade> [Acedido a: 30 de novembro de 2015].

AFA Systems – Packaging Automation. AF-DLT - Delta 3 High Speed Pick and Place Robot. [Online]. Disponível em: <http://www.afasystemsinc.com/robotics-af-dlt.php> [Acedido a: 10 de dezembro de 2015].

Allware Automação. Máquinas Especiais. [Online]. Disponível em: <http://www.awautomacao.com.br/maquinas.html> [Acedido em: 10 de dezembro de 2015].

Andrade, Filipa. Riscos Físicos. [Online]. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/pipaandrade/riscos-fsicos-16241029> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

BARA – British Automation & Robot Association. Why use robots? [Online]. Disponível em: <http://www.bara.org.uk/robots/why-use-robots.html> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

Barros, Dinis Teixeira de. *Protecção de Máquinas, Equipamentos de Protecção Individual e Sinalização de Segurança – Manual do Formando.* [Online]. Disponível em: <http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.aspx?skey&doc=55654&img=1272> [Acedido a: 29 de dezembro de 2015].

Cavalcanti, Murilo. *Física básica radiologia convencional.* [Online]. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/murilocavalcanti35/fsica-aplicada-a-radiologia> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

Comat Releco – World of Relays. *Automação Industrial – Definição e História.* [Online]. Disponível em: <https://www.comatreleco.com.br/automacao-industrial-historia/> [Acedido a: 2 de dezembro de 2015].

Crestani, Guilherme. [Online]. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/GuilhermeCrestani> [Acedido a: 17 de maio de 2016].

DB-Automation. *Premier Bowlfeeders.* [Online]. Disponível em: <http://www.db-automation.co.uk/Bowl-Feeders/default.aspx> [Acedido a: 10 de dezembro de 2015].

Delfingen. *History – 60 years of history.* [Online]. Disponível em: <http://www.delfingen.com/en/entreprise/historique.htm> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

FESTO. *Atuadores lineares DGPI, DGPII, métricos.* [Online]. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt_pt/products_DGP_DGPL [Acedido a: 28 de dezembro de 2015].

Física. *Máquinas Térmicas – Motores a explosão.* [Online]. Disponível em: <http://fisicacomdaenyasabrina.blogspot.pt/p/maquinas-termicas-motores-explosao.html> [Acedido em: 2 de dezembro de 2015].

Ford. *A Evolução da Produção em Série.* [Online]. Disponível em: <http://www.ford.pt/ExperienciaFord/SobreFord/InformacaoSobreEmpresa/Heritage/TheEvolutionofMassProduction> [Acedido a: 10 de novembro de 2015].

Interempresas Automatización. *El sistema de manipulación más apropiado en tan solo 20 minutos.* [Online]. Disponível em: <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/144611-El-sistema-de-manipulacion-mas-apropiado-en-tan-solo-20-minutos.html> [Acedido em: 1 de dezembro de 2015].

JBT Corporation. *Automatic Guided Vehicle (AGV) Systems.* [Online]. Disponível em: <http://www.jbtc-agv.com/en/Solutions/Products> [Acedido a: 10 de dezembro de 2015].

Joneja, Ajay e Lee, Neville. *Manufacturing Systems and Mass Customization*. [Online]. Disponível em: <https://www.ielm.ust.hk/dfaculty/ajay/courses/ieem513/MassCust/lecMC.html> [Acedido a: 10 de dezembro de 2015].

Lcsams. *Sinais de perigo e de obrigatoriedade laboratorial*. [Online]. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/lcsams/sinais-de-perigo-e-de-obrigatoriedade> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

Lenze. *Automotive: a diverse range of solutions for vehicle manufacturing*. [Online]. Disponível em: <http://www.lenze.com/en/industry-sector-expertise/automotive/> [Acedido a: 9 de dezembro de 2015].

Maná e.d.i. *Linha de montagem Ford T - Aventuras na história*. [Online]. Disponível em: <http://cargocollective.com/manaedi/Linha-de-montagem-Ford-T-Aventuras-na-historia> [Acedido em: 16 de novembro de 2015].

Na vida em Saúde Ambiental! Riscos Elétricos. [Online] Disponível em: <http://tecnicosaudeambiental.blogspot.pt/2014/06/riscos-eletricos.html> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

Oliveira, Manuel João. *Gestão em Farmácia – Marketing*. [Online]. Disponível em: <http://www.ff.ul.pt/~oliveira/GFAT51.pdf> [Acedido em: 24 de novembro de 2015].

Química. *Descoberta dos Raios X – Radiação*. [Online]. Disponível em: <http://elixirdasabedoria.blogspot.pt/2011/04/descoberta-dos-raios-x-radiacao.html> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

Santos, Guilherme. *O que é Automação Industrial – Parte II*. [Online]. Disponível em: <http://www.automacaoindustrial.info/o-que-e-automacao-industrial-parte-ii/> [Acedido a: 2 de dezembro de 2015].

Shah, Kimmah. *CNC Part III: Taking the Leap into Automated Machining*. [Online]. Disponível em: <http://blog.misumiusa.com/cnc-part-iii-taking-the-leap-into-automated-machining/> [Acedido em: 1 de dezembro de 2015].

Strategos Inc. *Just-In-Time Production*. [Online]. Disponível em: http://www.strategosinc.com/just-in-time_production.htm [Acedido em: 16 de novembro de 2015].

Tecnoalimentar – Revista da Indústria Alimentar. *Aspetos fundamentais no Design de Embalagens Alimentares*. [Online]. Disponível em: <http://www.tecnoalimentar.pt/noticias/os-aspetos-fundamentais-na-criacao-de-embalagens-alimentares/> [Acedido a: 10 de dezembro de 2015].

Tecnologias Industriais. *Autómatos Programáveis PLCs – Programação, inputs/outputs (capítulo 3).* [Online]. Disponível em: <https://tecnologiasindustriais.wordpress.com/category/automatos-programaveis/> [Acedido a: 28 de dezembro de 2015].

Toyota Caetano Portugal S.A. *Just-In-Time.* [Online]. Disponível em: <http://www.toyota-forklifts.com.pt/Pt/company/Toyota-Production-System/Just-in-time/Pages/default.aspx> [Acedido a: 16 de novembro de 2015].

Universidade do Minho. *Capítulo XIX – Higiene e Segurança no Trabalho.* [Online]. Disponível em: http://www.civil.uminho.pt/lftc/Textos_files/construcoes/cp1/Cap.%20XIX%20-%20Higiene%20e%20Seguran%C3%A7a%20no%20Trabalho.pdf [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

Viver com Saúde – Cuide melhor de sua vida! *Aptidão Musculoesquelética: Força e Mobilidade.* [Online]. Disponível em: <https://vivercomsaudeblog.wordpress.com/2012/11/01/aptidao-musculoesqueletica-forca-e-mobilidade/> [Acedido a: 5 de janeiro de 2016].

VLM Consultores. *Marcação CE Produtos de Construção.* [Online]. Disponível em: <http://vlm.pt/marcacao-ce-produtos-de-construcao/> [Acedido a: 28 de dezembro de 2015].

Vougaflex. *Tubos Industriais e Mangueiras Flexíveis PVC-PU.* [Online]. Disponível em: <http://www.vougaflex.pt/> [Acedido a: 11 de maio de 2016].

COMUNICAÇÕES PRÓPRIAS

6.1. PARTICIPAÇÕES EM CONFERÊNCIAS

6.2. PUBLICAÇÕES EM REVISTAS

6 Comunicações Próprias

6.1 Participações em Conferências

FAIM 2016: The 26th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing. June 27-30, 2016. Korea Science and Technology Center, Seoul, KOREA.

IRF 2016: The 5th International Conference on Integrity – Reliability – Failure. July 24-28, 2016. Faculty of Engineering/ U. Porto, Porto, Portugal.

6.2 Publicações em Revistas

International Journal of Mechanics and Materials in Design: A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry (cf. Anexo IX).

ANEXOS

7 ANEXOS

Todos os anexos encontram-se disponibilizados em formato digital, num DVD que acompanha este trabalho. De forma a organizar os anexos para facilitar a sua consulta, estes foram divididos da seguinte forma:

- **Anexo I** – Verificação de segurança de equipamento de trabalho;
- **Anexo II** – Desenhos;
- **Anexo III** – Sensores;
- **Anexo IV** – Simulações e fichas técnicas;
- **Anexo V** – Câmara de inspeção;
- **Anexo VI** – Ficha de manutenção;
- **Anexo VII** – Orçamento do equipamento;
- **Anexo VIII** – Alimentador – Justificação das soluções adotadas para posicionamentos;
- **Anexo IX** – Submissão de artigos em revistas

ANEXO I

Verificação de segurança de equipamentos de trabalho

	Riscos	Verificar	C	NC
Comandos	 Acessibilidade dos comandos	Os comandos devem ser visíveis e facilmente acessíveis		
	 Arranque intempestivo	A máquina só deve arrancar por acção intencional no comando de arranque		
	 Erros do circuito de comando	Comando de paragem sem prioridade sobre o comando de arranque		
	 Dispositivos de comando	Comando de paragem de emergência fica encravado na posição de actuação		
Mecânicos	 Esmagamento	Acesso à zona perigosa prevenido, ou a abertura entre as partes móveis é suficiente para não esmagar		
	 Corte por cisalhamento	Prevenida possibilidade de contacto com ferramentas, ou risco eliminado por concepção (p. ex. do volante)		
	 Corte	A possibilidade de contacto com as ferramentas deve estar prevenida		
	 Agarramento enrolamento	Acesso à zona perigosa, prevenido		
	 Anestamento aprisionamento	Acesso à zona perigosa, prevenido		
	 Perfuração ou picada	Acesso à zona perigosa, prevenido		
Térmico	 Choque ou impacto	Acesso à zona perigosa, prevenido		
	 Abrasão ou fricção	Acesso à zona perigosa, prevenido		
	 Ejeção de fluido a alta pressão	Tubagem e componentes protegidos, de modo a evitar que as fugas de fluido a alta pressão atinjam pessoas		
	 Projecção de objectos	Protectores suficientemente resistentes		
	 Perda de estabilidade	Meios de fixação ao solo		
	 Esco regamento, queda de pessoas	Pisos antiderrapantes, inexistência de ressalto e desníveis perigosos		
Térmico	 Contacto com superfícies quentes	Acesso a superfícies quentes impedido. Informação sobre o risco de queimadura		
Eléctrico	 Contacto directo c/ partes activas	Acesso a superfícies quentes impedido. Informação sobre o risco de queimadura		
	 Contacto indirecto	Circuito de protecção ligado à terra		
Outros	 Operações de manutenção	Dispositivos de corte e isolamento de todas as fontes de energia, com bloqueio		
	 Riscos residuais	Devem existir no equipamento pictogramas e informação sobre os riscos residuais e meios de prevenção		

ANEXO II

Desenhos

Todos os desenhos de projeto relativos ao equipamento desenvolvido encontram-se no CD que acompanha esta dissertação.

ANEXO III

Sensores



Principal

Situação comercial	Comercializado
Gama de produtos	OsiSense XU
Nome da série	Aplicação
Tipo de sensor electrónico	Sensor fotoeléctrico
Nome do sensor	XUY
Design do sensor	Derivação
Sistema de detecção	Feixe fotoeléctrico
Emissão	LED de infravermelhos, modulado
Largura passagem	30 mm
Profundidade de passagem	42 mm
Material	Metal/Plástico
Tipo do circuito de alimentação	CC
Técnica de ligação	4 fios
Tipo de saída discreta	PNP e NPN
Função de saída discreta	1 NA ou 1 NF programável
Ligação eléctrica	1 conector macho M8, 4 pinos
Aplicação específica do produto	Detecção de folha dupla Detecção de etiquetas Detecção de referências Detecção em calha oscilante Detecção num transportador pequeno
[Sn] distância de detecção nominal	30 mm

Complementar

Material do quadro	Alumínio pintado e poliamida/vidro
Tipo de teclado alternativo	Amarelo
Diâmetro mínimo do objecto para detecção	0.2 mm
Tipo de sinal de saída	Discreto
Tipo de saída	Estado sólido
LED de estado	1 LED (amarelo) para estado de saída 1 LED (vermelho) para modo de ajuste e bloqueio de teclado
[Us] tensão de alimentação nominal	12...24 V CC com protecção da polaridade inversa
Limites de tensão da alimentação	10 ... 30 V CC
Capacidade de comutação em mA	100 mA (protecção contra sobrecargas e curtos-circuitos)
Frequência de comutação	10 kHz
Quedas de tensão	< 2 V (estado fechado)
Consumo de corrente	40 mA (sem carga)
Capacitância de carga	330 nF
Resposta do atraso	-20 ... 20 mS
Configuração	Auto-didacta
Peso do produto	0.055...0.128 kg

Ambiente

Certificações do produto	CE CULus
Temperatura ambiente para funcionamento	-20...60 °C
Temperatura ambiente para armazenamento	-30...80 °C
Imunidade à luz ambiente	5000 lux com lâmpada incandescente 10000 lux com luz natural
Resistência à vibração	7 gn, amplitude = +/- 0,75 mm (f = 10...55 Hz) em conformidade com IEC 60068-2-6
Resistência ao choque	30 gn (duração = 11 ms) em conformidade com IEC 60068-2-27
Grau de proteção IP	IP65 em conformidade com IEC 60529

SOEZ-LLK-SE-2,0-M4

Fibre-optic cable

Data sheet

Part no.: 165360

Page:1

Feature	Data/description
Signal processing (measuring principle)	red light
Switch triggering	Interrupt
Function on actuation	Polymer fibre optic cable
Coverage range max.	400 mm
Minimum ambient temperature	-40 °C
Maximum ambient temperature	70 °C
Mounting thread	M 4
Material of housing	brass
Product weight	0,02 kg
Coating of housing	Nickel-plated
Degree of protection	IP65

ANEXO IV

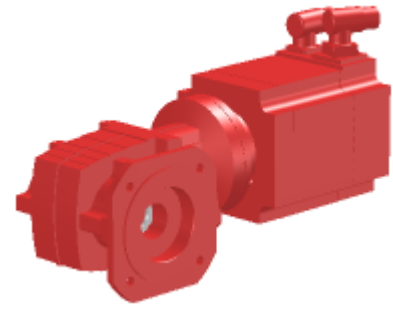
Simulações e fichas técnicas

ANEXO IV.I

Ficha técnica do servomotor para passadeira indexada

Servo motoredutor

WAF37CMP80S/KY/RH1M/SM1



Velocidade nominal do motor	[1/min] : 2000
Velocidade de saída	[1/min] : 94,00
Relação de Transmissão média	: 21,33
Torque saída	[Nm] : 110,00
Dynamic output torque	[Nm] : >102
Fator de serviço SEW-FB	: 0,50
Posição de montagem	: M1,M2,M3,M5,M6A
Pintura fundo de cobertura	: 9005 Preto Escuro (51192010)
Posição da caixa de terminais	[°] : 270
Posição da entrada de cabos/conector	: Posição: ajustável
Hollow shaft	[mm] : 20
Carga radial máxima permitida para n=1400	[N] : 0,00
Lubricant quantity 1st gear unit	[Litro] : 0,5
Diâmetro do flange	[mm] : 160
Binário do motor	[Nm] : 13,40
Fator de duração	: S1-100%
Tensão do motor	[V] : 400
Esquema de ligações	: DT11
Corrente estática (I ₀)	[A] : 6,90
Corrente máxima permitida (I _{max})	[A] : 14,90
Classe de temperatura	: F
Tipo de protecção	: IP65
Peso Líquido	[Kg] : 23
Elektrische Sonderauslegung	: reduzierte Dynamik/ reduzierter Ritzelzapfen: Der Spitzenstrom auf dem Typenschild darf in keinem Fall überschritten werden.

Funções Adicionais e Opções:

Lubrificante: CLP PG-460-NSF-H1 (-20 / +60 °C): 0,5 Litro

IEC34-1

KTY- Sonda de temperatura

RH1M- resolver

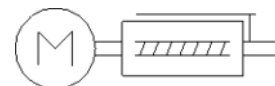
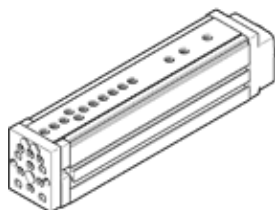
SM1- Conector de ficha angular ajustável (motor)

ANEXO IV.II

Simulações e fichas técnicas do cilindro de introdução de acessórios

mini guia
EGSL-BS-45-100-10P
 Código da peça: 559335

FESTO



Ficha técnica

Característica	Valores
Curso de trabalho	100 mm
Dimensões	45
Funcionamento paralelo na direção z	0,04 mm
Paralelismo	0,05 mm
Folga de inversão	$\leq 50 \mu\text{m}$
Diâmetro do fuso	10 mm
Passo do fuso	10 mm/U
Posição de instalação	Nos dois lados
Guia	Guia com alojamento de esferas
Princípio construtivo	Miniguia elétrica Guia With ball screw
Tipo de motor	Motor de passo Servomotor
Tipo de eixo	Ball screw
Deteção de posição	Para sensor de proximidade
Aceleração máx.	25 m/s ²
Velocidade máxima	1 m/s
Precisão de repetição	+/- 0,015 mm
Tempo de abertura e fechamento	100%
Classe de resistência à corrosão KBK	0
Nível de pressão acústica	60 dB(A)
Classe de proteção	IP40
Temperatura ambiente	0 ... 60 °C
Força de avanço permanente	100 N
Torque de acionamento máximo	0,51 Nm
Força máxima F _y	631 N
Força máxima F _z	631 N
Torque máx. M _x	18,6 Nm
Torque máx. M _y	16,3 Nm
Torque máx. M _z	16,3 Nm
Força radial máxima no eixo motor	120 N
Máx. força de avanço F _x	150 N
Torque de acionamento sem carga	0,08 Nm
Valor de referência para carga útil, horizontal	6 kg
Valor de referência para carga útil, vertical	6 kg
Momento de inércia J _L por kg de carga útil	0,0253 kgcm ²
Momento de inércia J _O	0,0614 kgcm ²
Constante de avanço	10 mm/U
Intervalo entre serviços de manutenção	Lubrificação permanente
Massa móvel	670 g
Peso do produto	1.570 g
Tipo de fixação	com rosca interna com bucha centralizadora com acessórios
Observações sobre material	Contém substâncias com LABS

Característica	Valores
	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Alumínio injetado pintado
Informação sobre material, trilho guia	Aço do mancal do rolamento
Informação sobre material, corpo	Liga de alumínio anodizado
Informação sobre material, flange de fixação	Liga de alumínio anodizado
Informação sobre material, porca do fuso	Aço do mancal do rolamento
Informação sobre material, fuso	Aço do mancal do rolamento

ANEXO IV.II.I

Simulação do cilindro de introdução de borrachas

Posicionamento

Perfis do movimento



PositioningDrives

Versão 2.3.0

24-05-2016

[illegible]

Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Eixo:

EGSL-BS-45-100-10P
Conjunto axial:
EAMMA-D32-60P



Motor:

EMME-AS-60-S-LS-AxB
Sem redução



Controlador:

CMMP-AS-C2-3A-Mk
Unidade de potência
230 VAC (Fase única)

Dados técnicos

Tecnologia de eixos
Guia
Tipo de motor
Máxima temperatura ambiente
Posição de montagem, Eixo

Fuso de esferas
Gaiola de esferas
Servo AC
25 °C
Horizontal 0°

Carga calculada a partir de:

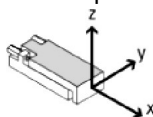
Exigido
Curso efetivo 100 mm
Repetibilidade 0,5 mm
Máxima massa a ser 1 kg
Força externa adicional 36 N

A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento 0,392 s
Tempo de ciclo 0,792 s
Tempo de intervalo 0,4 s
Tempo de ativação 49 %
Carga Eixo 24 %
Carga Motor 99 %
Carga Guia 8 %

Distância da carga

Posição de montagem, Eixo Horizontal 0°
Posição de montagem, Guia Para cima ou para
m = 1 kg **F = 36 N**
X 15 mm
Y 0 mm
Z -22 mm



Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)

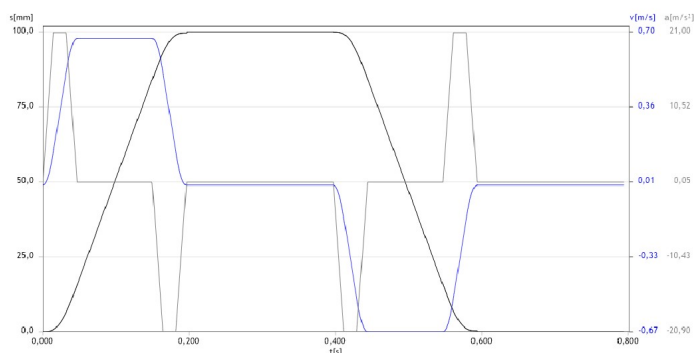


Gráfico com: Controlador Tensão de alimentação = 230 VAC (Fase única)

Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Eixo Velocidade: 0,67 m/s, Aceleração: 20,903 m/s², Desaceleração: 20,903 m/s²

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

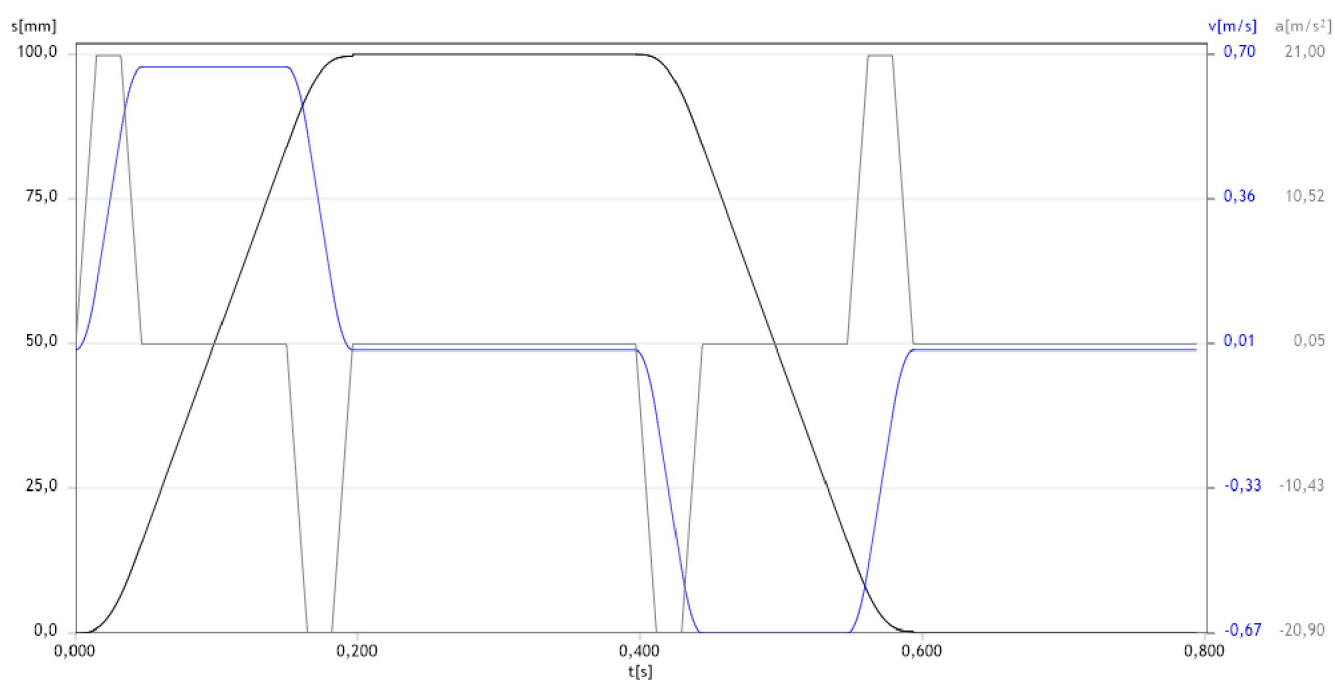
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	0,392 s
Tempo de ciclo	0,792 s
Tempo de intervalo	0,4 s
Tempo de ativação	49 %

máximo

Velocidade	0,67 m/s
Aceleração	20,903 m/s ²
Desaceleração	20,903 m/s ²



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

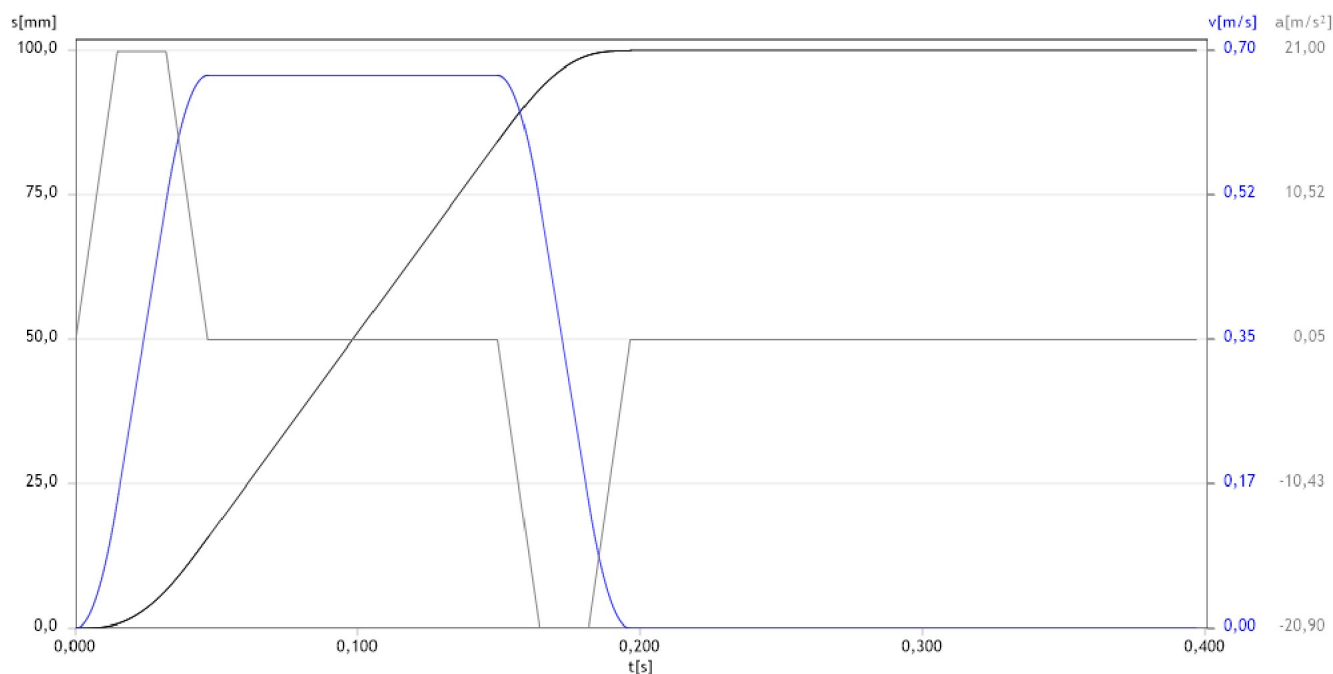


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,196 s	Velocidade	0,67 m/s
Tempo de ciclo	0,396 s	Aceleração	20,903 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	20,903 m/s ²
Tempo de ativação	49 %		



Posicionamento

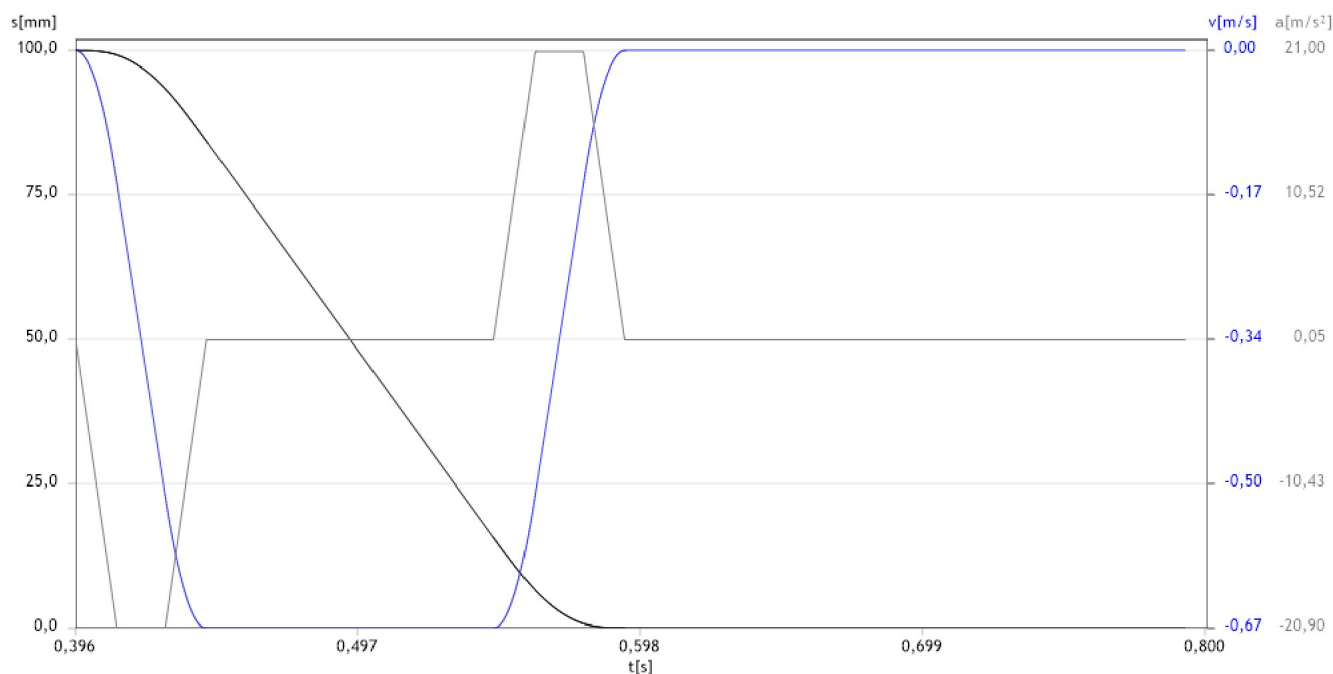
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,196 s	Velocidade	0,67 m/s
Tempo de ciclo	0,396 s	Aceleração	20,903 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	20,903 m/s ²
Tempo de ativação	49 %		

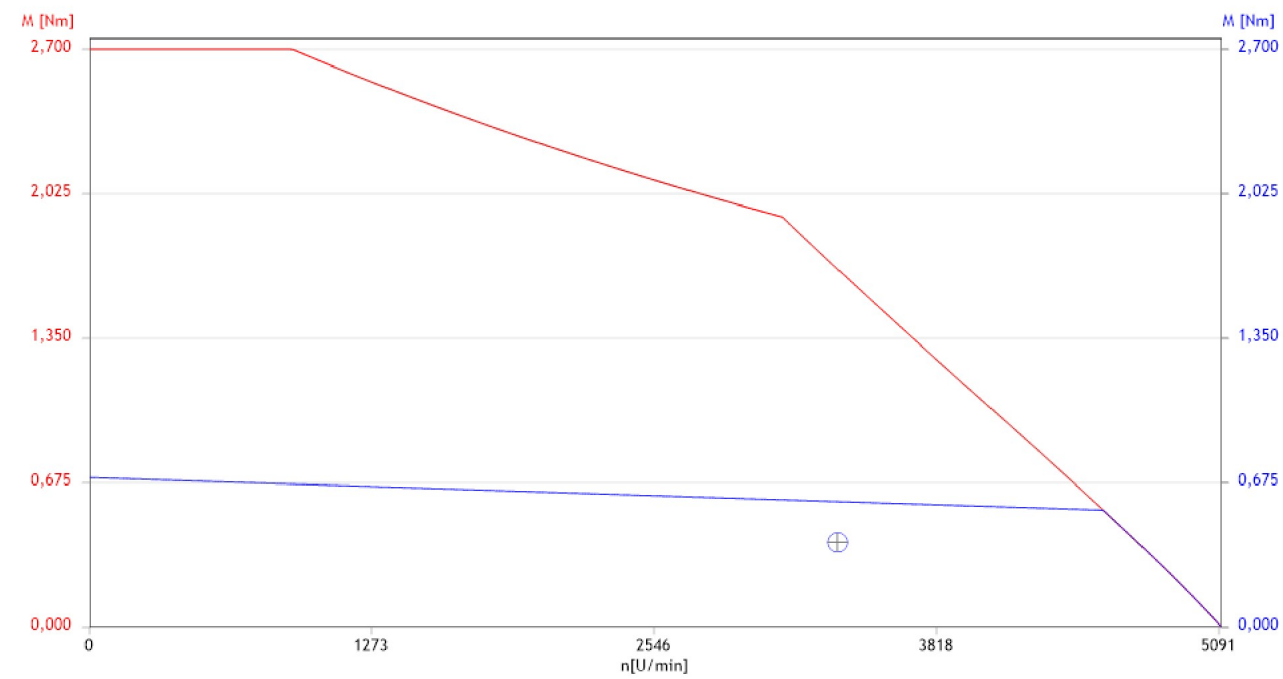


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade mínima
Torque efetivo Dados dinâmicos



Máximo Torque
Rotação
in
in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo (com Controlador Tensão de alimentação = 230 VAC (Fase única))

Tipo	EGSL-BS-45-100-10P
Velocidade máxima calculada	0,67 m/s
Máxima aceleração calculada	20,903 m/s ²
Força útil necessária	35,5 N
Vida útil: Força de avanço média calculada (Fuso) 24,5 N	
Torque de pico Fuso	0,19 Nm
Máxima rotação do fuso	4022 rpm
Solavanco máximo	1418 m/s ³
Deslocamento durante parada de emergência	8,986 mm
Desaceleração máxima e desaceleração máxima da velocidade de parada	
Controlador CMM AS C A M	

Motor

Tipo	EMME-AS-60-S-LS-AxB
Máxima rotação do motor	4022 rpm
Torque de aceleração	1,05 Nm
Torque externo + Atrito	0,44 Nm
Torque efetivo	0,4 Nm
Potência máxima calculada	499,7 W
Valor efetivo da potência	182,8 W
Corrente máxima calculada	1,4 A
Valor efetivo da corrente	0,5 A
Corrente durante parada de emergência	0,4 A

Momento de inércia

Translatório	0,043 kgcm ²
Giratório	0,103 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	0,146 kgcm ²
Relação do momento de inércia	1,458

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Curso efetivo
Repetibilidade

EGSL-BS-45-100-10P

100 mm
0,015 mm

Força útil
(Limite para planejamento do projeto)

150 N

Aceração máxima
Velocidade máxima
Momento de inércia
(Translatório; Massa a ser movimentada no eixo)

25 m/s²
1 m/s
0,018 kgcm²

Fuso

Constante de avanço
Torque máximo
Momento de inércia

10 mm
0,51 Nm
0,044 kgcm²

Motor

Velocidade nominal (Tensão = 360 V)
Torque nominal
Torque de pico
Corrente nominal
Corrente de pico
Momento de inércia
Máxima temperatura ambiente
Torque de retenção (Freio)

EMME-AS-60-S-LS-AxB

3000 rpm
0,6 Nm
2,8 Nm
0,8 A
3,6 A
0,319 kgcm²
100 °C
2 Nm

Controlador

Tensão de alimentação
 Parte lógica
 Unidade de potência
Tensão no circuito intermediário
Corrente nominal
Corrente de pico
Resistência de frenagem, Integrada

CMMP-AS-C2-3A-Mk

24 V DC
230 V AC
380 V DC
2,5 A
5 A
60 Ohm / 10 W

ANEXO IV.II.II

Simulação do cilindro de introdução de casquilhos

Posicionamento

Perfis do movimento



PositioningDrives

Versão 2.3.0

24-05-2016

[illegible]

Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Eixo:

EGSL-BS-45-100-10P

Conjunto axial:

EAMMA-D32-60P



Motor:

EMME-AS-60-S-LS-AxB

Sem redução



Controlador:

CMMP-AS-C2-3A-Mk

Unidade de potência

230 VAC (Fase única)

Dados técnicos

Tecnologia de eixos

Guia

Tipo de motor

Máxima temperatura ambiente

Posição de montagem, Eixo

Fuso de esferas

Gaiola de esferas

Servo AC

25 °C

Horizontal 0°

Carga calculada a partir de:

Exigido

Curso efetivo

100 mm

Repetibilidade

0,5 mm

Máxima massa a ser

1 kg

Força externa adicional

75 N

A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento

0,392 s

Tempo de ciclo

0,792 s

Tempo de intervalo

0,4 s

Tempo de ativação

49 %

Carga Eixo

24 %

Carga Motor

99 %

Carga Guia

8 %

Distância da carga

Posição de montagem, Eixo

Horizontal 0°

Posição de montagem, Guia

Para cima ou para

m = 1 kg

F = 75 N

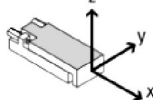
X 15 mm

Y 0 mm

Z -22 mm

0 mm

0 mm



Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)

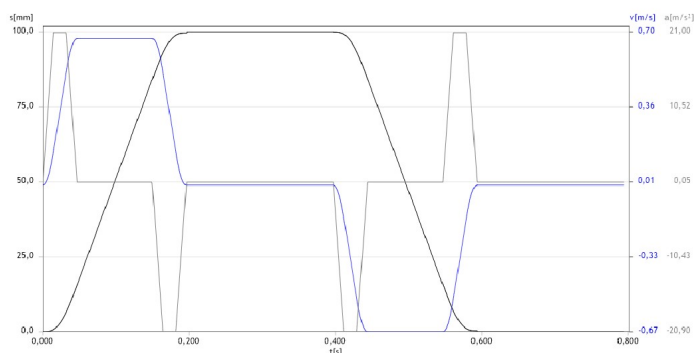


Gráfico com: Controlador Tensão de alimentação = 230 VAC (Fase única)

Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Eixo Velocidade: 0,67 m/s, Aceleração: 20,903 m/s², Desaceleração: 20,903 m/s²

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

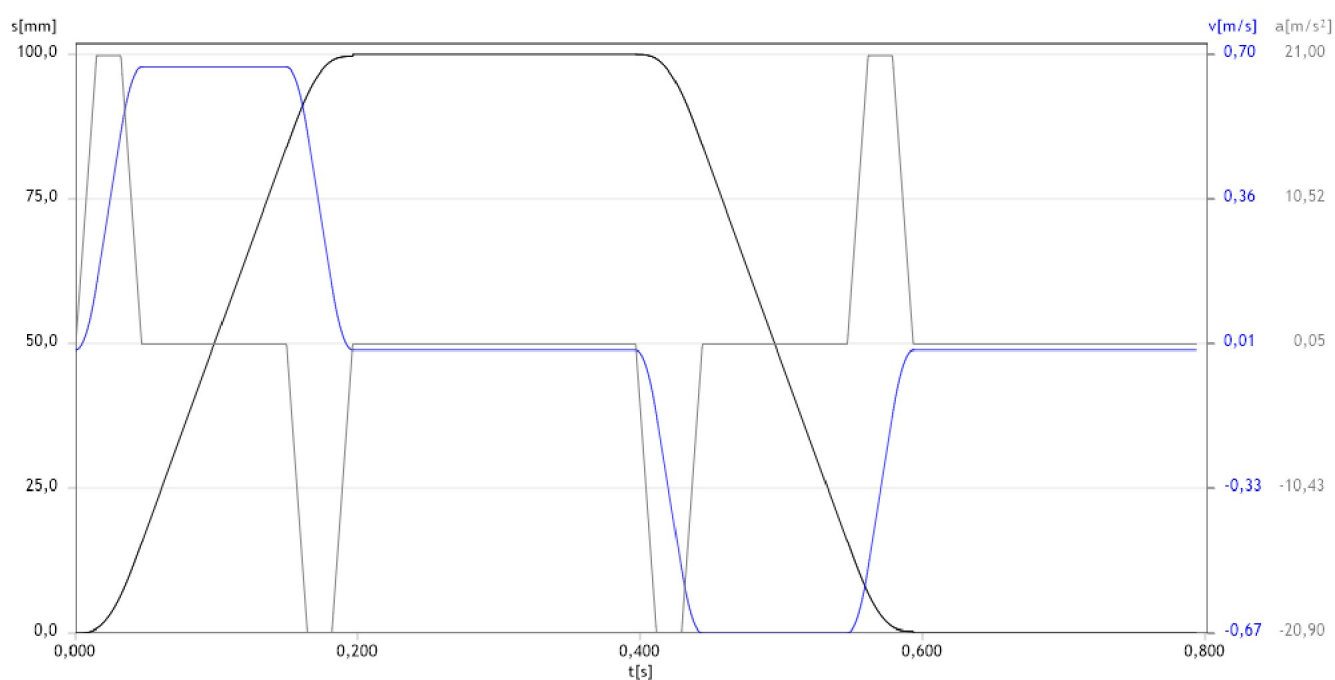
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	0,392 s
Tempo de ciclo	0,792 s
Tempo de intervalo	0,4 s
Tempo de ativação	49 %

máximo

Velocidade	0,67 m/s
Aceleração	20,903 m/s ²
Desaceleração	20,903 m/s ²



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

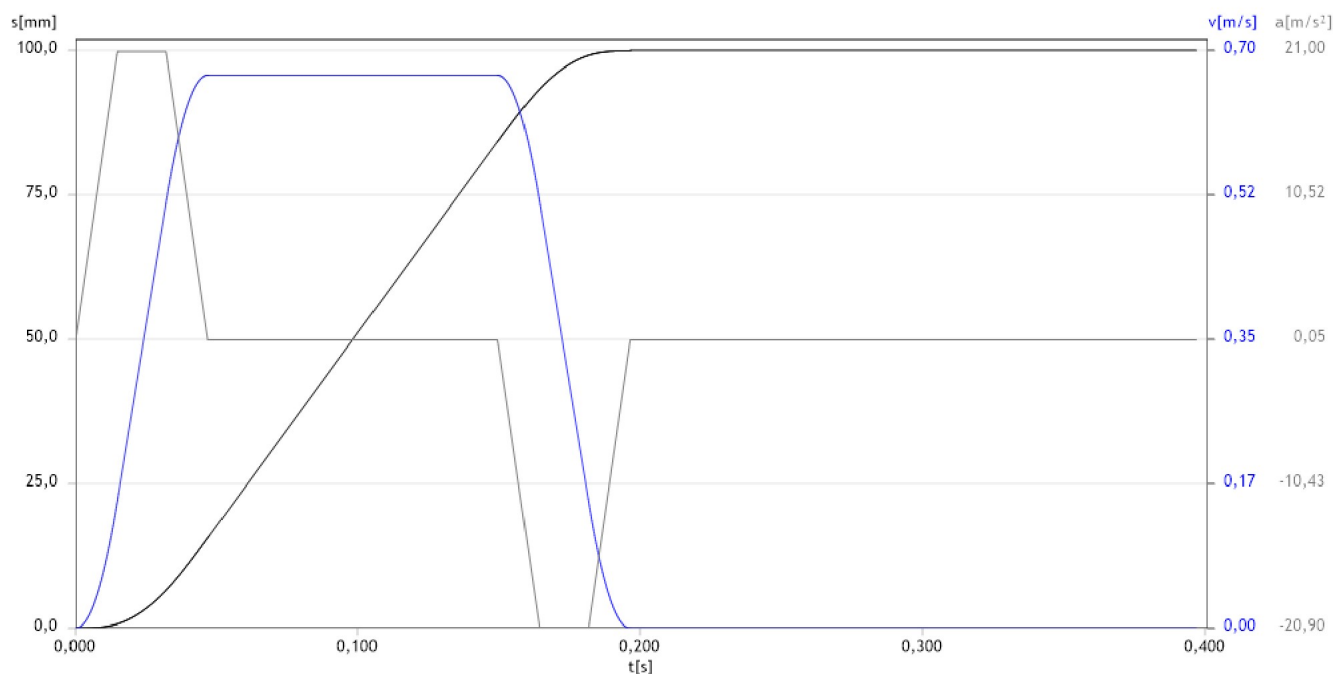


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,196 s	Velocidade	0,67 m/s
Tempo de ciclo	0,396 s	Aceleração	20,903 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	20,903 m/s ²
Tempo de ativação	49 %		



Posicionamento

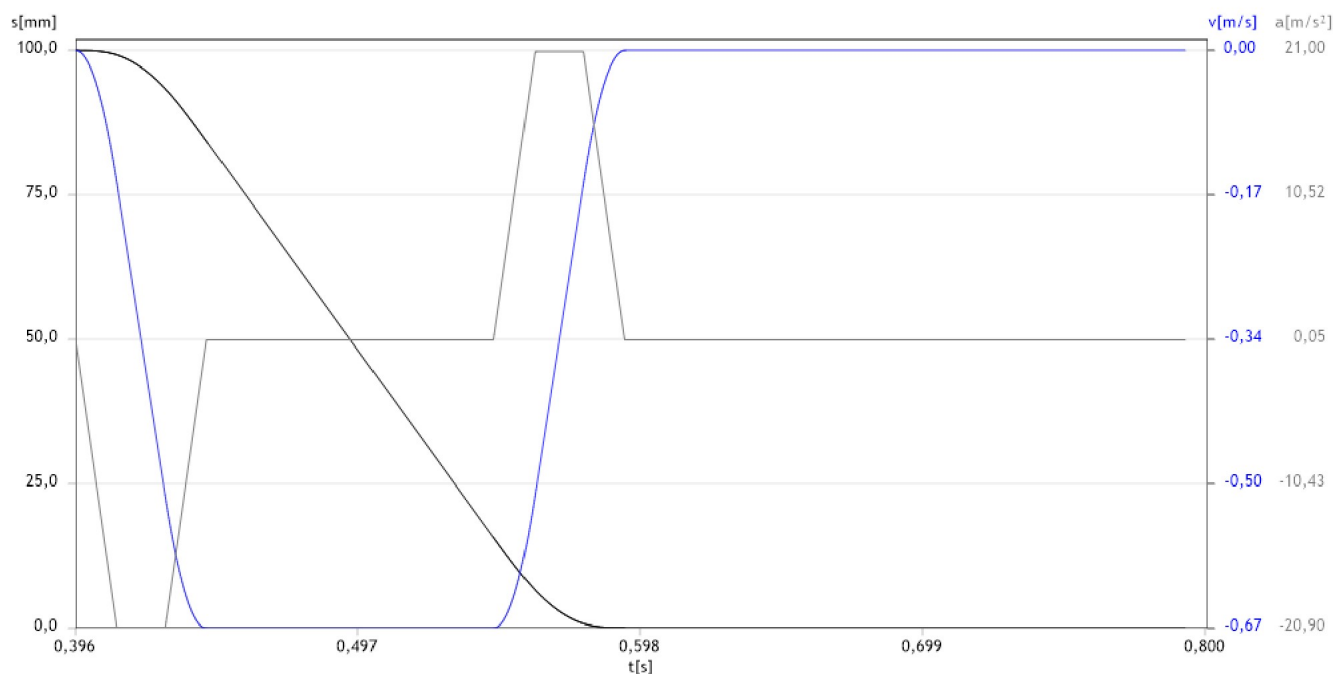
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,196 s	Velocidade	0,67 m/s
Tempo de ciclo	0,396 s	Aceleração	20,903 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	20,903 m/s ²
Tempo de ativação	49 %		

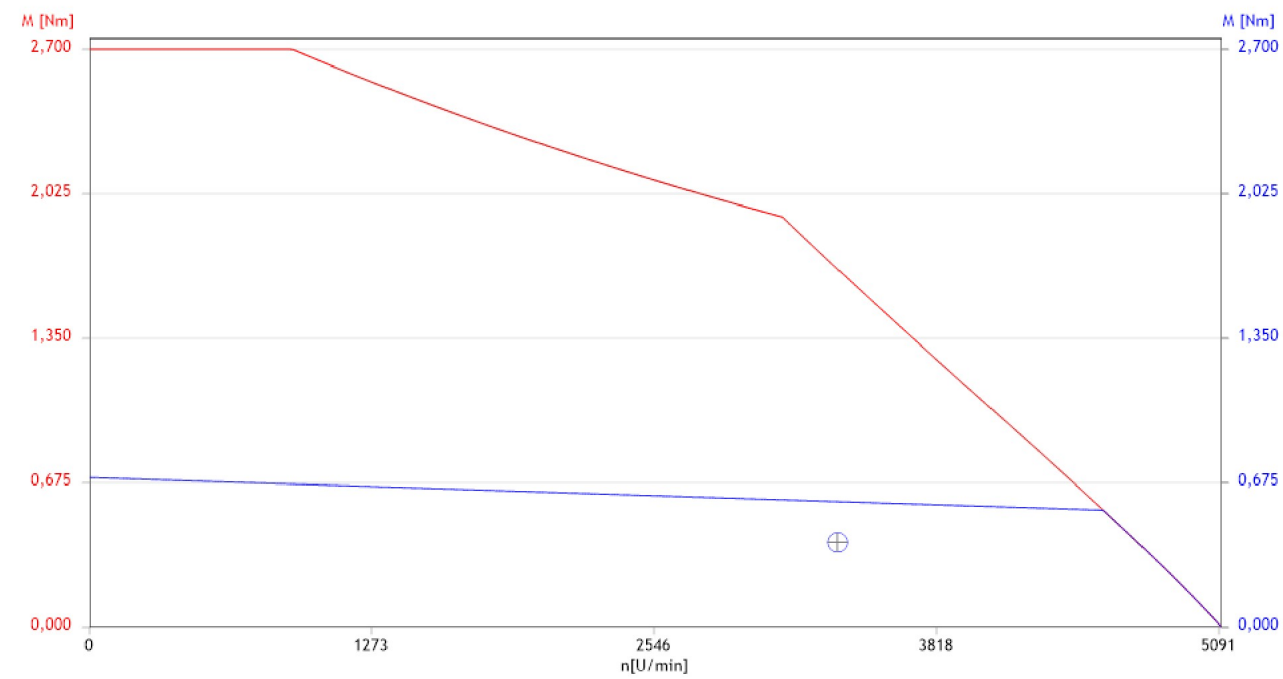


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade mínima
Torque efetivo Dados dinâmicos



Máximo Torque
Rotações
in
in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo (com Controlador Tensão de alimentação = 230 VAC (Fase única))

Tipo	EGSL-BS-45-100-10P
Velocidade máxima calculada	0,67 m/s
Máxima aceleração calculada	20,903 m/s ²
Força útil necessária	35,5 N
Vida útil: Força de avanço média calculada (Fuso) 24,5 N	
Torque de pico Fuso	0,19 Nm
Máxima rotação do fuso	4022 rpm
Solavanco máximo	1418 m/s ³
Deslocamento durante parada de emergência	8,986 mm
Desaceleração máxima calculada para a desaceleração máxima calculada	
Controlador CMM AS C A M	

Motor

Tipo	EMME-AS-60-S-LS-AxB
Máxima rotação do motor	4022 rpm
Torque de aceleração	1,05 Nm
Torque externo + Atrito	0,44 Nm
Torque efetivo	0,4 Nm
Potência máxima calculada	499,7 W
Valor efetivo da potência	182,8 W
Corrente máxima calculada	1,4 A
Valor efetivo da corrente	0,5 A
Corrente durante parada de emergência	0,4 A

Momento de inércia

Translatório	0,043 kgcm ²
Giratório	0,103 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	0,146 kgcm ²
Relação do momento de inércia	1,458

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Curso efetivo
Repetibilidade

EGSL-BS-45-100-10P

100 mm
0,015 mm

Força útil
(Limite para planejamento do projeto)

150 N

Aceração máxima
Velocidade máxima
Momento de inércia
(Translatório; Massa a ser movimentada no eixo)

25 m/s²
1 m/s
0,018 kgcm²

Fuso

Constante de avanço
Torque máximo
Momento de inércia

10 mm
0,51 Nm
0,044 kgcm²

Motor

Velocidade nominal (Tensão = 360 V)
Torque nominal
Torque de pico
Corrente nominal
Corrente de pico
Momento de inércia
Máxima temperatura ambiente
Torque de retenção (Freio)

EMME-AS-60-S-LS-AxB

3000 rpm
0,6 Nm
2,8 Nm
0,8 A
3,6 A
0,319 kgcm²
100 °C
2 Nm

Controlador

Tensão de alimentação
 Parte lógica
 Unidade de potência
Tensão no circuito intermediário
Corrente nominal
Corrente de pico
Resistência de frenagem, Integrada

CMMP-AS-C2-3A-Mk

24 V DC
230 V AC
380 V DC
2,5 A
5 A
60 Ohm / 10 W

ANEXO IV.III

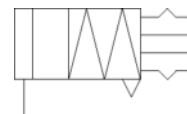
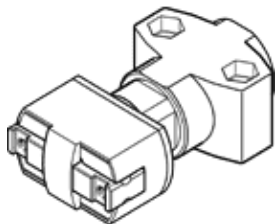
Ficha técnica da mini-garra

garra paralela HGPM-12-EZ-G6

Código da peça: 197568

FESTO

Microgarra, com compensação de curso.



Ficha técnica

Característica	Valores
Dimensões	12
Curso por mordente	3 mm
Intercambialidade máxima	0,2 mm
Precisão de repetição, garra	$\leq 0,05$ mm
Número de mordentes	2
Modo de operação	de simples ação fechado
Função de garra	Paralela
Princípio construtivo	Plano inclinado
Deteção de posição	Sem
Força total de fixação a 6 bar no fechamento	35 N
Pressão de trabalho	4 ... 8 bar
Frequência operacional máxima da garra	4 Hz
Tempo mínimo de abertura a 6 bar	3 ms
Tempo de fechamento mínimo a 6 bar	8,3 ms
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	1
Temperatura ambiente	5 ... 60 °C
Força de mola do compensador de avanço	10 ... 23 N
Força de fixação por castanha a 6 bar, na abertura	17,5 N
Força máxima no mordente Fz estática	30 N
Torque máximo no mordente Mx estático	0,5 Nm
Torque máximo no mordente My estático	0,5 Nm
Torque máximo no mordente Mz estático	0,5 Nm
Peso do produto	62 g
Tipo de fixação	com furo passante
Conexão pneumática	M3
Observações sobre material	Isento de cobre e PTFE
Informação sobre material, tampa cega	POM
Informação sobre material, corpo	Liga de alumínio anodizado
Informação sobre material, mordentes	Aço alta liga

ANEXO IV.IV

Simulação do eixo vertical

Posicionamento

Perfis do movimento



PositioningDrives

Versão 2.3.0

29-05-2016

[illegible]

Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Eixo:

EGC-70-TB-KF-GK
Conjunto axial:
EAMMA-L38-87A



Motor:

EMM6-ST-87-S-SEB-G2
Sem redução



Controlador:

CMM6-ST-C8-7-G2
Unidade de potência
24 VDC

Dados técnicos

Tecnologia de eixos
Guia
Tipo de motor
Máxima temperatura ambiente
Posição de montagem, Eixo

Correia dentada
Esferas recirculantes
Passo, "ServoLite"
25 ° C
Vertical 90 °

Carga calculada a partir de:

Exigido
Curso efetivo 100 mm
Repetibilidade 0,5 mm
Máxima massa a ser 5 kg
Força externa adicional 0 N

A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento 0,583 s
Tempo de ciclo 0,983 s
Tempo de intervalo 0,4 s

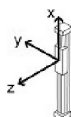
Carga Eixo 98 %
Carga Motor 91 %
Carga Guia 48 %

Distância da carga

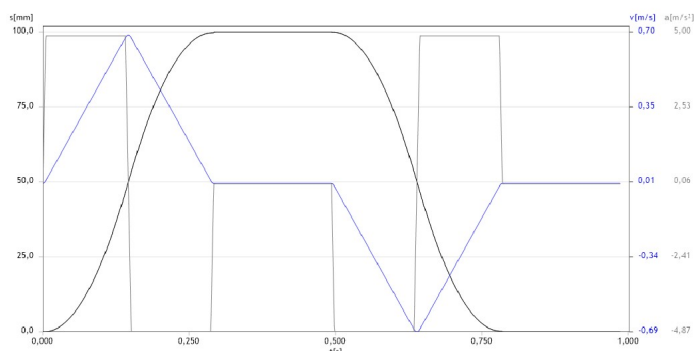
Posição de montagem, Eixo Vertical 90 °

m = 5 kg
X 0 mm
Y 300 mm
Z 50 mm

F = 0 N



Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)



Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Eixo Velocidade: 0,686 m/s, Aceleração: 4,874 m/s², Desaceleração: 4,874 m/s²

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

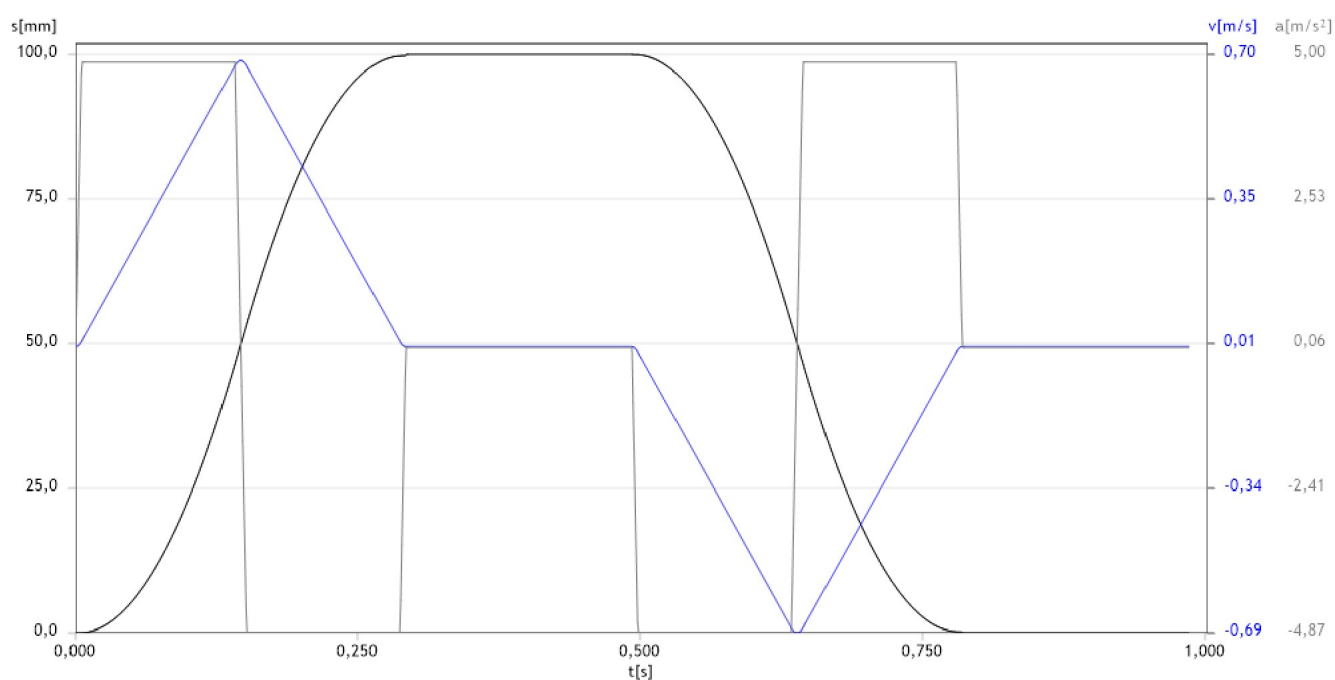
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	0,583 s
Tempo de ciclo	0,983 s
Tempo de intervalo	0,4 s

máximo

Velocidade	0,686 m/s
Aceleração	4,874 m/s ²
Desaceleração	4,874 m/s ²



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

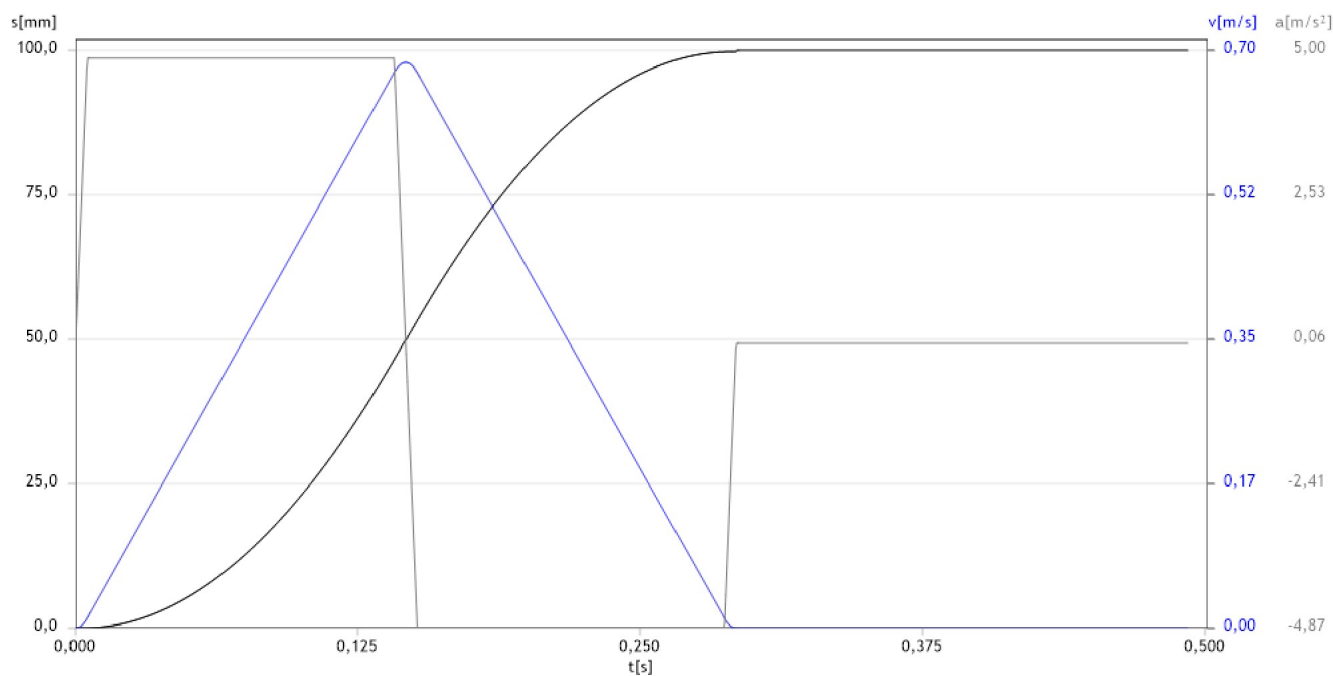


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,292 s	Velocidade	0,686 m/s
Tempo de ciclo	0,492 s	Aceleração	4,874 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	4,874 m/s ²



Posicionamento

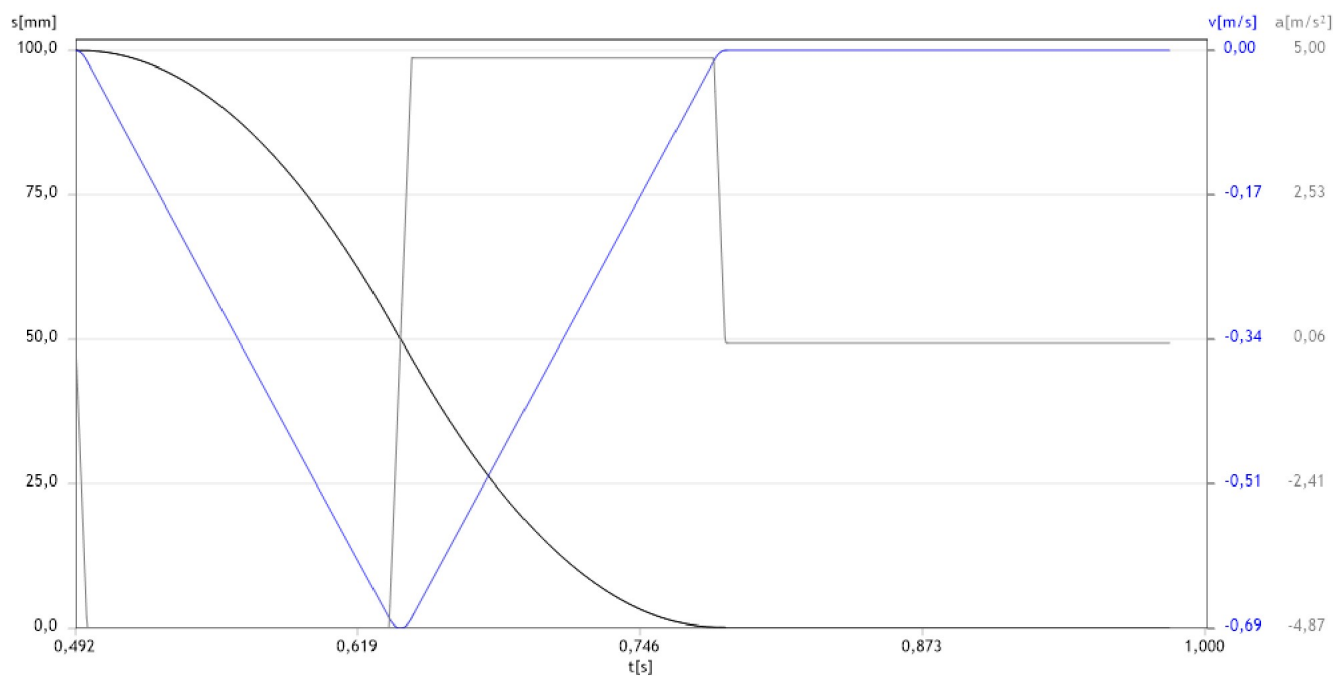
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,292 s	Velocidade	0,686 m/s
Tempo de ciclo	0,492 s	Aceleração	4,874 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	4,874 m/s ²

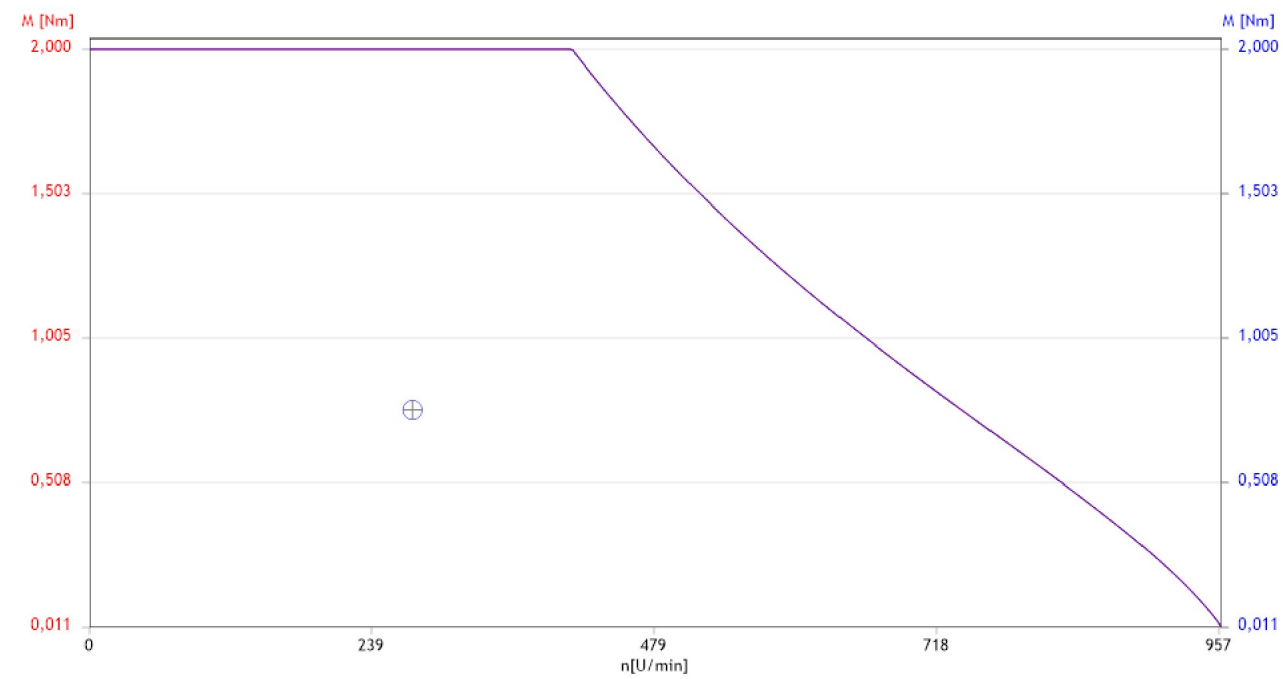


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade mínima
Torque efetivo Dados dinâmicos



Motor Speed Torque
Rotation in in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Tipo	EGC-70-100-TB-KF-OH-GK
Velocidade máxima calculada	0,686 m/s
Máxima aceleração calculada	4,874 m/s ²
Força útil necessária	78,9 N
Torque de pico Pinhão	1,25 Nm
Máxima rotação do pinhão	527 rpm
Solavanco máximo	954 m/s ³
Deslocamento durante parada de emergência	26,686 mm
Desaceleração máxima calculada para o eixo "velocidade máxima calculada"	5,874 m/s ²
Controlador	CMMS ST C G

Motor

Tipo	EMMS-ST-87-S-SEB-G2
Máxima rotação do motor	527 rpm
Torque de aceleração	1,34 Nm
Torque externo + Atrito	0,96 Nm
Controlador tensão motor de passo	24 V DC
Potência máxima calculada	127,2 W
Corrente máxima calculada	6,2 A
Corrente durante parada de emergência	4,8 A

Momento de inércia

Translatório	8,303 kgcm ²
Giratório	0,268 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	8,571 kgcm ²
Relação do momento de inércia	9,01

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Curso efetivo
Repetibilidade

EGC-70-100-TB-KF-OH-GK

5000 mm
0,08 mm

Força útil
(Limite para planejamento do projeto)

78,9 N

Aceração máxima
Velocidade máxima
Momento de inércia
(Translatório; Massa a ser movimentada no eixo)

50 m/s²
5 m/s
0,596 kgcm²

Pinhão

Constante de avanço
Torque máximo
Momento de inércia

78 mm
1,24 Nm
0,236 kgcm²

Motor

Velocidade máxima (Máx.. Tensão = 48 V)
Torque de retenção (ServoLite): $\geq 50\%$ Máx.. Torque de

EMMS-ST-87-S-SEB-G2

2130 rpm
1 Nm

Corrente nominal

9,5 A

Momento de inércia
Máxima temperatura ambiente
Torque de retenção (Freio)

1,07 kgcm²
50 °C
2 Nm

Controlador

Tensão de alimentação
Parte lógica
Unidade de potência

CMMS-ST-C8-7-G2

24 V DC
24 ... 48 V DC

Corrente nominal
Corrente de pico

8 A
12 A

ANEXO IV.V

Simulação do servomotor para mover os alimentadores vibratórios

Posicionamento

Perfis do movimento



PositioningDrives

Versão 2.3.0

29-05-2016

[illegible]

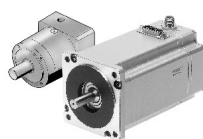
Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Motor:
EMMS-ST-87-M-SEB-G2
Redutor: 5:1
EMGA-80-P-G5-SST-87



Controlador:
CMMD-ST-C5-1-...
Unidade de potência
24 VDC

Dados técnicos

Carga calculada a partir de: Exigido

Tipo de motor
Máxima temperatura ambiente

Passo, "ServoLite"
25 ° C

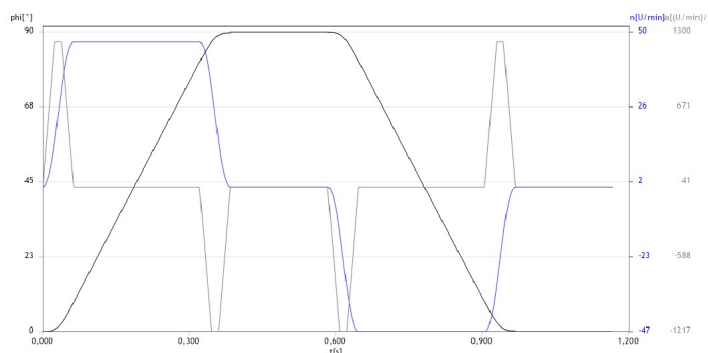
Máxima massa a ser 40 kg
Distância do c.g. ao eix: 16,5 mm
Mmento de inércia 108,9 kgcm²
Torque externo 0 Nm

A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento 0,768 s
Tempo de ciclo 1,168 s
Tempo de intervalo 0,4 s

Carga Motor 97 %

Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)



Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Em relação ao lado da tração (Relação de redução 5:1) Rotações: 47 rpm, Aceleração: 1217 rpm/s, Desaceleração: 1217 rpm/s

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

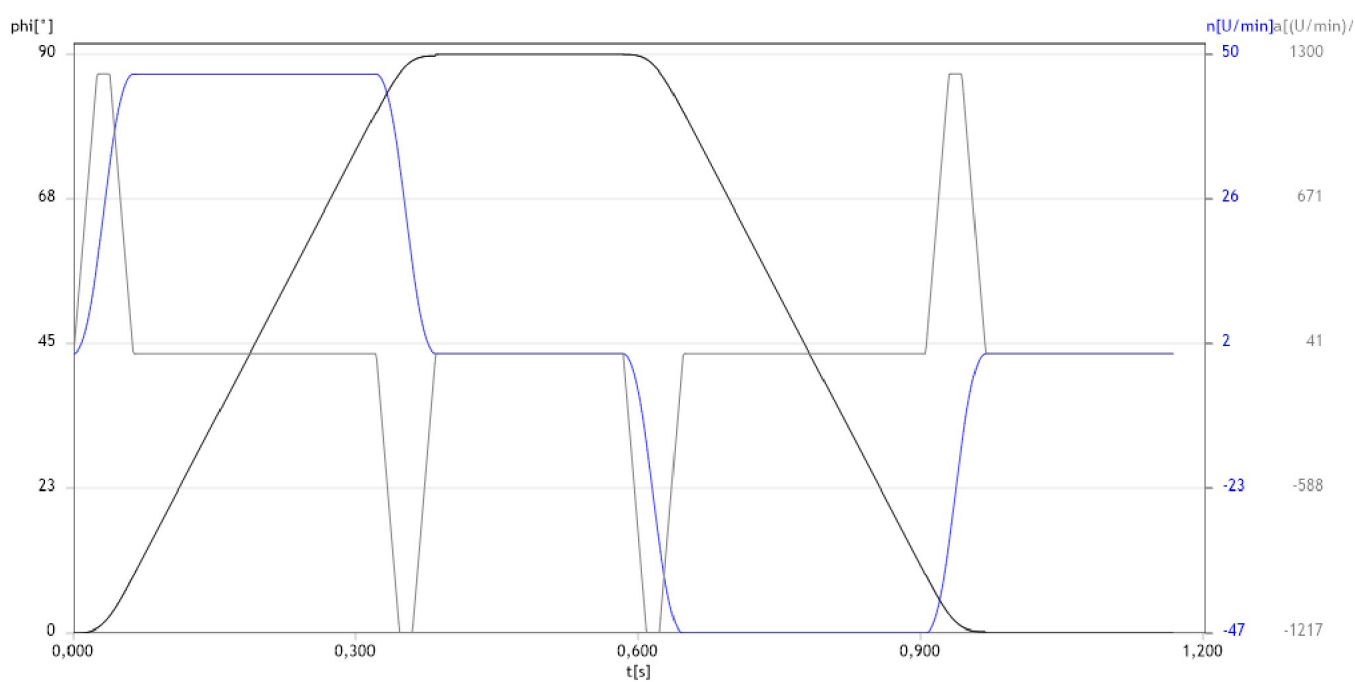
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	0,768 s
Tempo de ciclo	1,168 s
Tempo de intervalo	0,4 s

máximo

Velocidade	47 rpm
Aceleração	1217 rpm/s
Desaceleração	1217 rpm/s



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

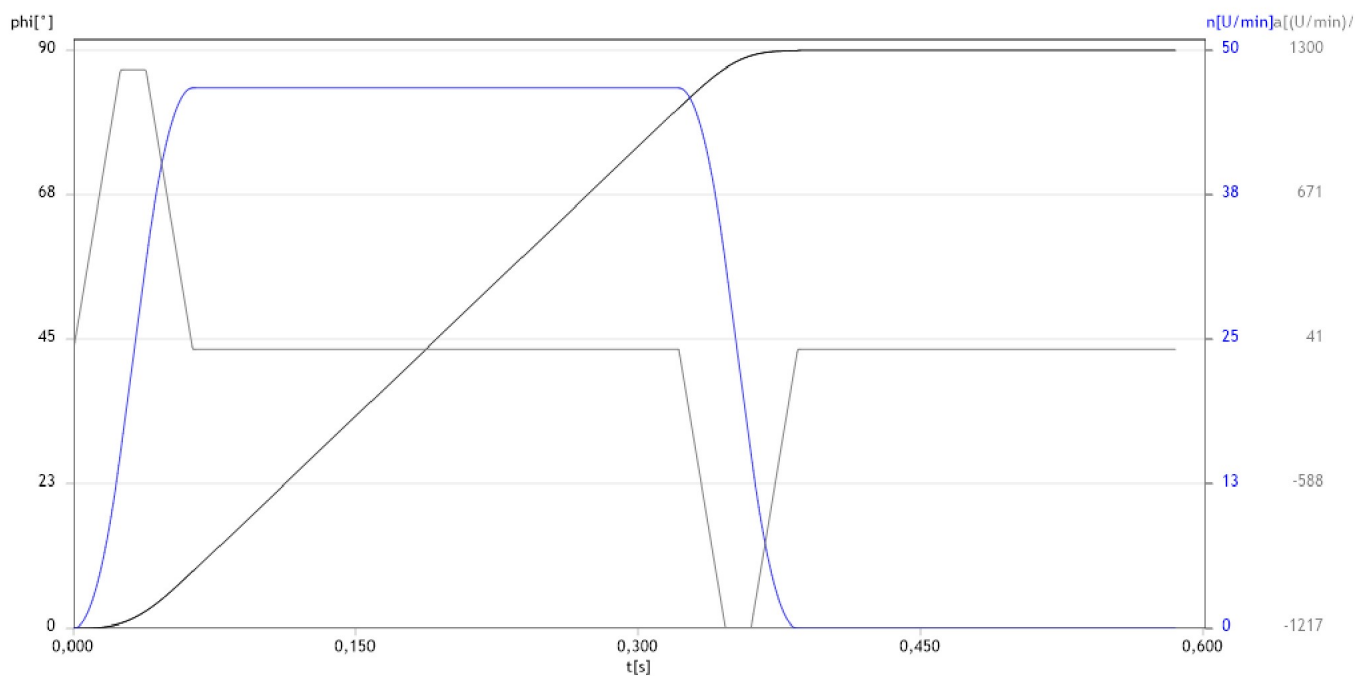


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,384 s	Velocidade	47 rpm
Tempo de ciclo	0,584 s	Aceleração	1217 rpm/s
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	1217 rpm/s



Posicionamento

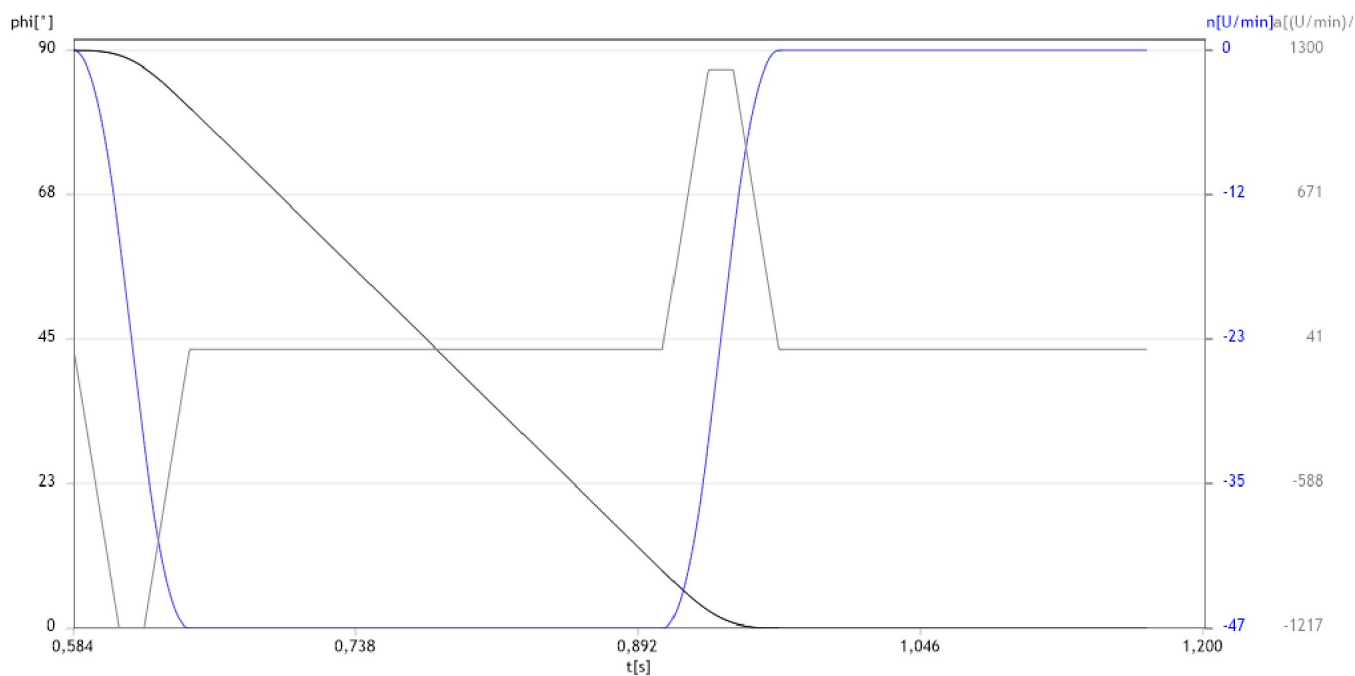
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,384 s	Velocidade	47 rpm
Tempo de ciclo	0,584 s	Aceleração	1217 rpm/s
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	1217 rpm/s

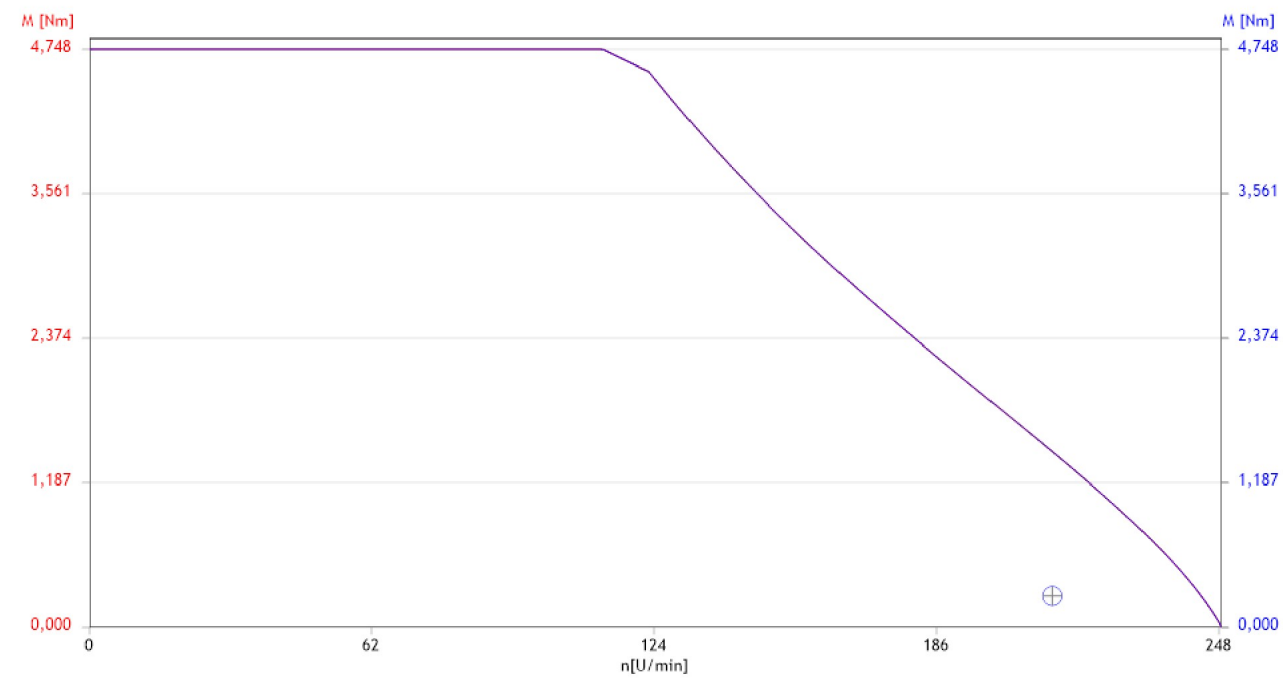


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade de rotação
Torque efetivo Dados dinâmicos



Motor Speed Torque
Rotation in in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Em relação ao lado da tração (Redutor)

Relação de redução	5:1
Rotação máxima	47 rpm
Máxima aceleração calculada	1217 rpm/s
Máximo torque necessário	3,18 Nm

Solavanco máximo	49036 rpm/s ²
Deslocamento durante parada de emergência	0,51 °
Desaceleração máxima e desaceleração máxima da velocidade de parada "Desaceleração máxima da velocidade de parada" Controlador CMMO ST C	

Motor

Tipo	EMMS-ST-87-MSEB-G2
Máxima rotação do motor	234 rpm
Torque de aceleração	0,64 Nm
Torque externo + Atrito	0,21 Nm
Controlador tensão motor de passo	24 V DC
Potência máxima calculada	17,5 W
Corrente máxima calculada	0,8 A
Corrente durante parada de emergência	5,2 A

Momento de inércia

Giratório	108,901 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	4,806 kgcm ²
Relação do momento de inércia	3,44

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Em relação ao lado da tração

5:1

Aceração máxima
Rotação máxima

1217 rpm/s
350 rpm
com: Torque externo = 0 Nm

Motor

EMMS-ST-87-MSEB-G2

Velocidade máxima (Máx.. Tensão = 48 V)
Torque de retenção (ServoLite): $\geq 50\%$ Máx.. Torque de

550 rpm
3 Nm

Corrente nominal

9,5 A

Momento de inércia
Máxima temperatura ambiente
Torque de retenção (Freio)

1,97 kgcm²
50 °C
2 Nm

Controlador

CIMMD-ST-C5-1-...

Tensão de alimentação
Parte lógica
Unidade de potência

24 V DC
24 V DC

Corrente nominal
Corrente de pico

5,7 A
5,7 A

Redutor

EMGA-80-P-G5-SST-87

Relação de redução
Rendimento
Momento de inércia

5:1
97 %
0,45 kgcm²

ANEXO IV.VI

Simulações e fichas técnicas dos atuadores

ANEXO IV.VI.I

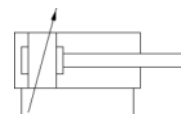
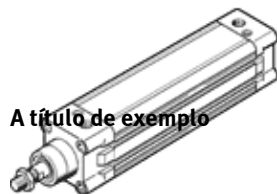
Fichas técnica atuador pneumático

cilindro normalizado DNC-40- -PPV

Código da peça: 163350

FESTO

Conforme ISO 15552, com camisa perfilada e amortecimento regulável nas posições finais.



Ficha técnica

Característica	Valores
Curso	2 ... 2.000 mm
Diâmetro do êmbolo	40 mm
Rosca da haste	M12x1,25
Amortecimento	PPV: Amortecimento pneumático regulável nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	ISO 15552
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Tubo perfilado
Deteção de posição	Sem
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	0,6 ... 12 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Autorização	Germanischer Lloyd
Energia de impacto nas posições finais	0,2 J
Curso de amortecimento	20 mm
Força teórica a 6 bar, retorno	633 N
Força teórica a 6 bar, avanço	754 N
Massa móvel com curso de 0 mm	307 g
Peso adicional por 10 mm de curso	45 g
Peso básico para curso de 0 mm	800 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	16 g
Tipo de fixação	com rosca interna com acessórios
Conexão pneumática	G1/4
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Injetados de alumínio revestido
Informação sobre material, vedações	TPE-U(PU)
Informação sobre material, haste	Aço alta liga
Informação sobre material, camisa do cilindro	Liga de alumínio anodizado liso

ANEXO IV.VI.II

Simulação atuador giratório

Posicionamento

Perfis do movimento



PositioningDrives

Versão 2.3.0

25-05-2016

[illegible]

Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Módulo giratório:

EHMB-25

Conjunto axial:

EAMM-A-D40-57A



Motor:

EMM6-ST-57-S-SE-G2

(Módulo giratório: 4:1)



Controlador:

CMM6-ST-C8-7-G2

Unidade de potência

48 VDC

Dados técnicos

Tecnologia de eixos

Correia dentada

Carga calculada a partir de:

Exigido

Tipo de motor

Passo, "ServoLite"

Máxima massa a ser

2,5 kg

Máxima temperatura ambiente

25 °C

Distância do c.g. ao eix

0 mm

Momento de inércia

0 kgcm²

Torque externo

0 Nm

A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento

0,588 s

Tempo de ciclo

0,988 s

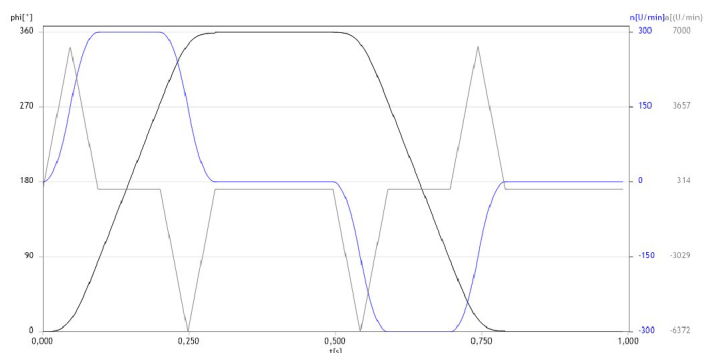
Tempo de intervalo

0,4 s

Carga Motor

63 %

Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)



Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Eixo Rotações: 300 rpm, Aceleração: 6372 rpm/s, Desaceleração: 6372 rpm/s

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

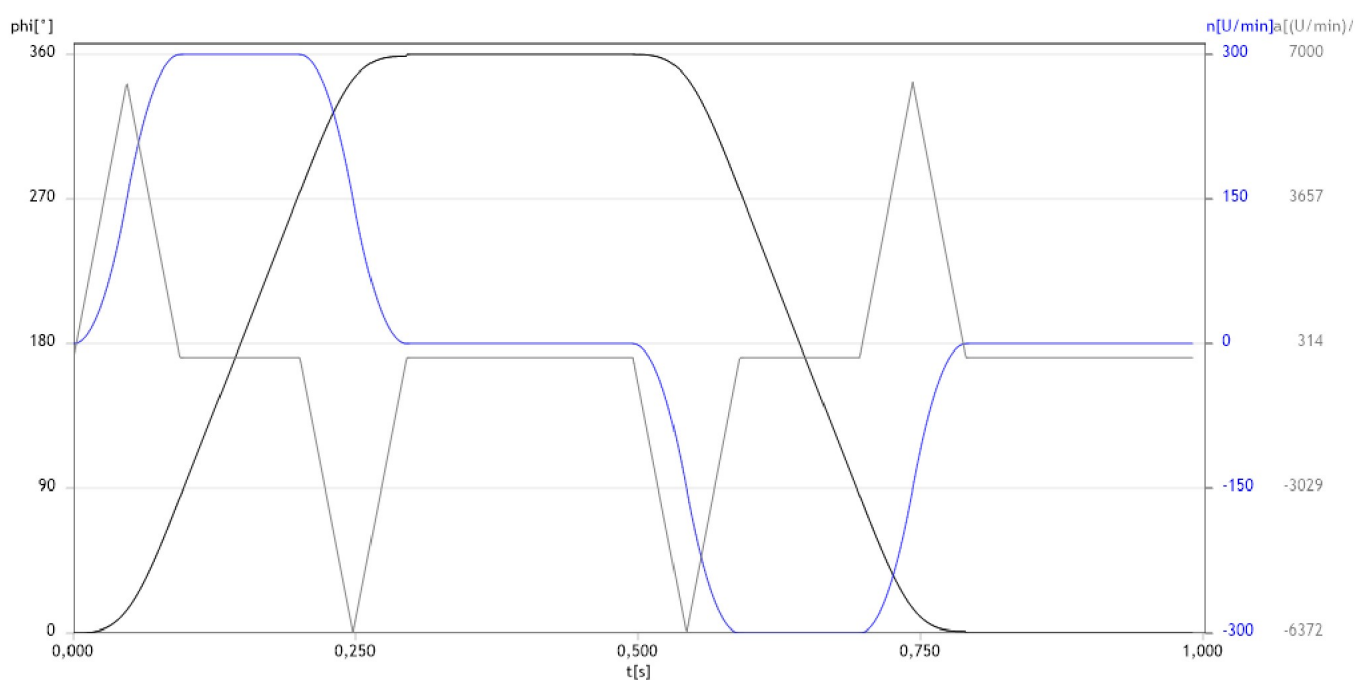
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	0,588 s
Tempo de ciclo	0,988 s
Tempo de intervalo	0,4 s

máximo

Velocidade	300 rpm
Aceleração	6372 rpm/s
Desaceleração	6372 rpm/s



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

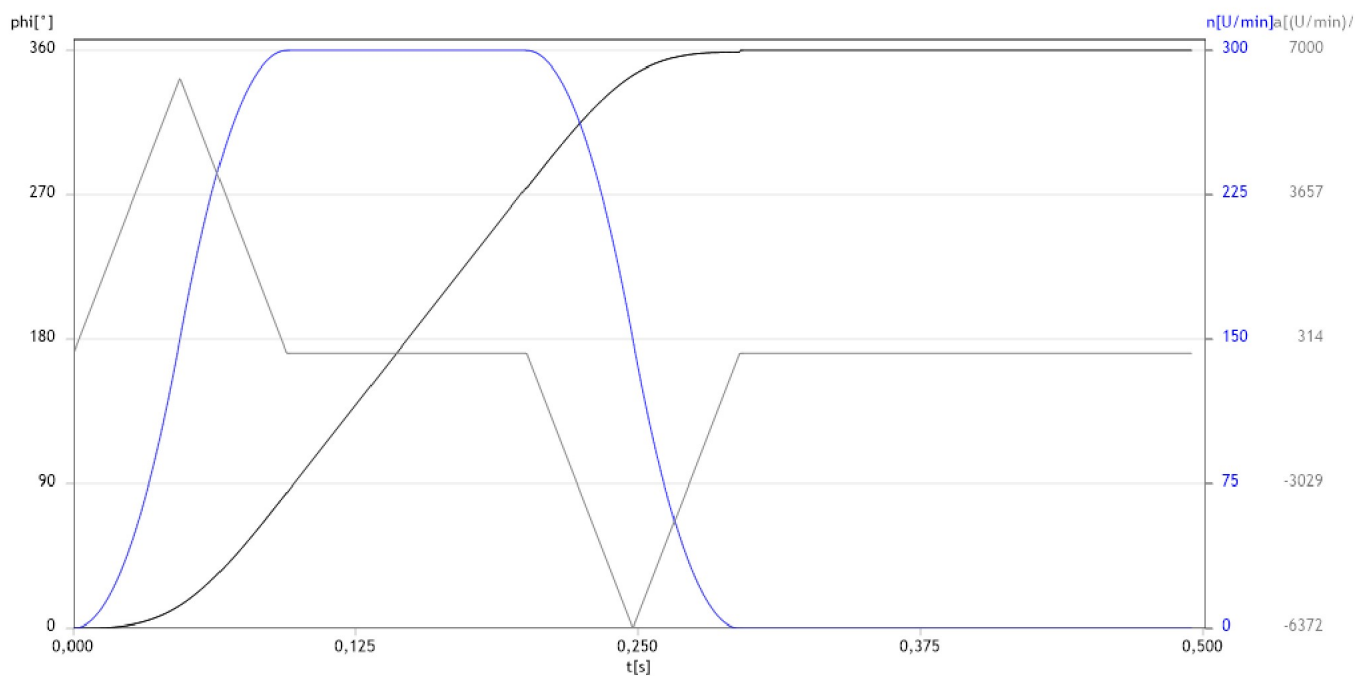


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,294 s	Velocidade	300 rpm
Tempo de ciclo	0,494 s	Aceleração	6372 rpm/s
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	6372 rpm/s



Posicionamento

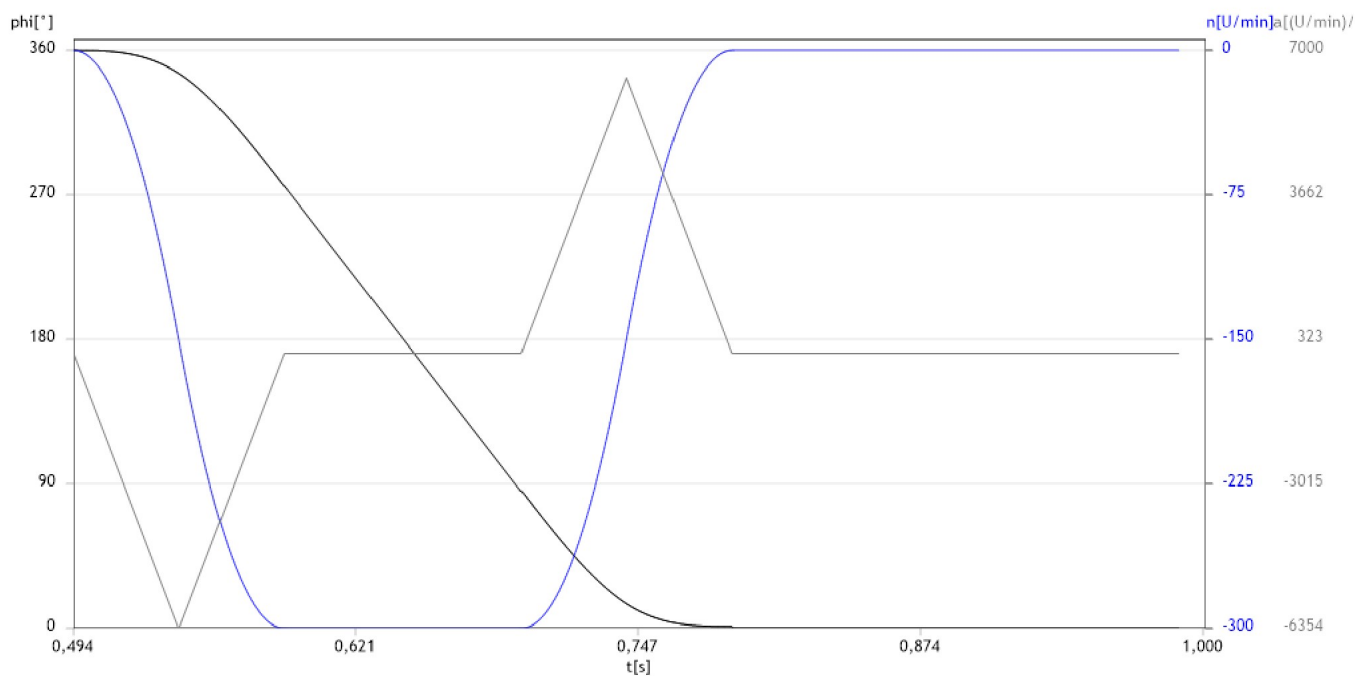
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,294 s	Velocidade	300 rpm
Tempo de ciclo	0,494 s	Aceleração	6372 rpm/s
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	6372 rpm/s

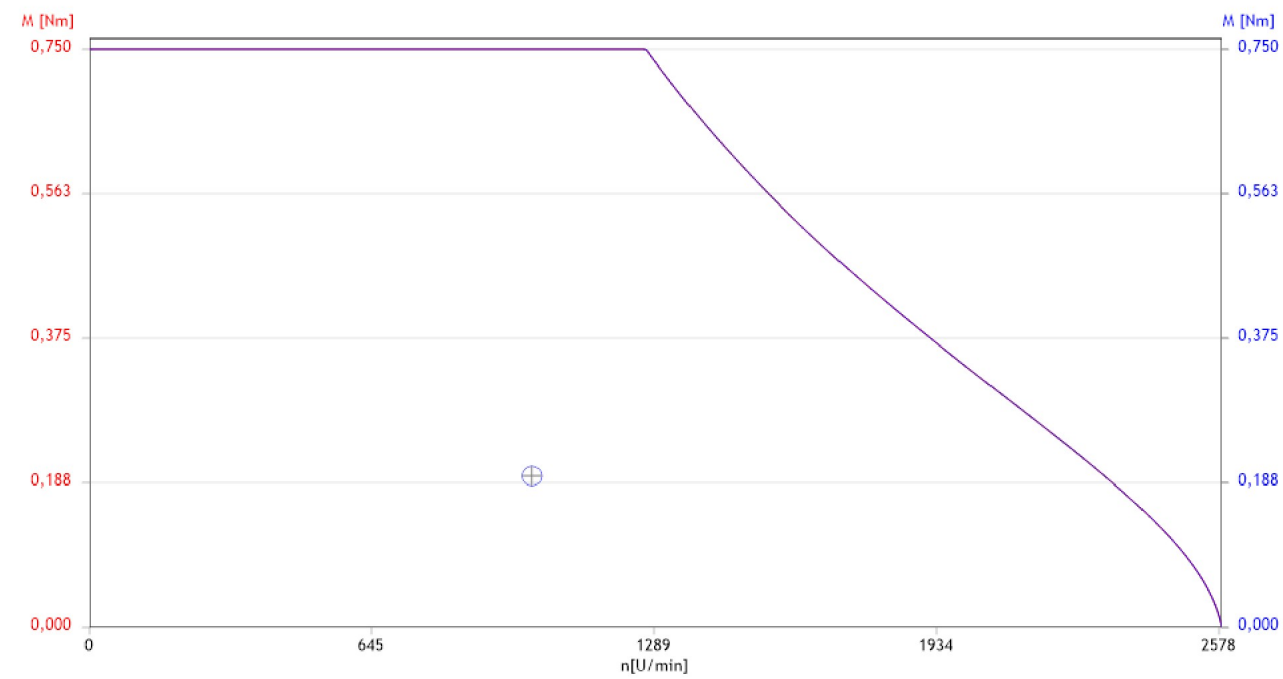


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade mínima
Torque efetivo Dados dinâmicos



Motor Speed
Torque
Rotation
in
in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Módulo giratório

Tipo	EHMB-25-100
Rotação máxima	300 rpm
Máxima aceleração calculada	25488 rpm/s
Máximo torque necessário	0,48 Nm
Máxima rotação do pinhão	1200 rpm
Solavanco máximo	135342 rpm/s ²
Deslocamento durante parada de emergência	20,26 °
Desaceleração máxima e rotação máxima da série com "precisão de posicionamento" e "precisão de posicionamento" e "precisão de posicionamento"	
Controlador CMMS ST C G	

Motor

Tipo	EMMS-ST-57-S-SE-G2
Máxima rotação do motor	1200 rpm
Torque de aceleração	0,48 Nm
Torque externo + Atrito	0,18 Nm
Controlador tensão motor de passo	48 V DC
Potência máxima calculada	102,8 W
Corrente máxima calculada	3 A
Corrente durante parada de emergência	2,7 A

Momento de inércia

Giratório	0,787 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	0,787 kgcm ²
Relação do momento de inércia	3,715

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Módulo giratório

EHMB-25-100

Torque
(Limite para planejamento do projeto)

2,1 Nm

Aceração máxima
Rotação máxima
Momento de inércia

72069 rpm/s
300 rpm
0,729 kgcm²

Motor

EMMS-ST-57-S-SE-G2

Velocidade máxima (Máx.. Tensão = 48 V)
Torque de retenção (ServoLite): $\geq 50\%$ Máx.. Torque de

2720 rpm
0,4 Nm

Corrente nominal

5 A

Momento de inércia
Máxima temperatura ambiente

0,29 kgcm²
50 °C

Controlador

CMMS-ST-C8-7-G2

Tensão de alimentação
Parte lógica
Unidade de potência

24 V DC
24 ... 48 V DC

Corrente nominal
Corrente de pico

8 A
12 A

ANEXO IV.VII

Ficha técnica do atuador pneumático para elevação dos alimentadores vibratórios

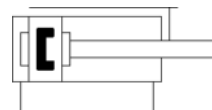
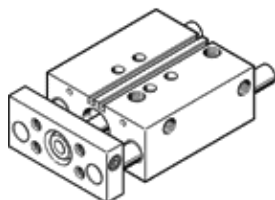
Atuador guia DFM-20-30-P-A-GF

Código da peça: 170842

★ Linha de produtos básicos

FESTO

Com este produto, o sensor de fim de curso SMTSO-8E com comprimentos de curso de 20 até 40 mm só pode ser utilizado se o conjunto de fixação SMB-8E estiver montado para fora. com guia integrada.



Ficha técnica

Característica	Valores
Distância do centro de gravidade da carga útil até o flange de fixação	50 mm
Curso	30 mm
Diâmetro do êmbolo	20 mm
Modo de operação da unidade de acionamento	elemento de fixação
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Guia	Guia deslizante
Princípio construtivo	Guia
Deteção de posição	Para sensor de proximidade
Pressão de trabalho	2 ... 10 bar
Velocidade máxima	0,8 m/s
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energia de impacto nas posições finais	0,2 Nm
Torque máx. Mx	1,7 Nm
Máx. carga útil em função do curso a uma distância definida xs	61 N
Força teórica a 6 bar, retorno	141 N
Força teórica a 6 bar, avanço	188 N
Massa móvel	435 g
Peso do produto	865 g
Conexões alternativas	Veja desenho do produto
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	Liga de alumínio
Informação sobre material, vedações	NBR
Informação sobre material, corpo	Liga de alumínio
Informação sobre material, haste	Aço alta liga, inoxidável

ANEXO V

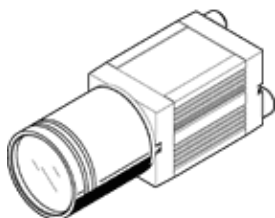
Ficha técnica da câmara de inspeção

sistema de câmara compacto SBOC-Q-R2C

Código da peça: 551022

FESTO

Câmara compacta inteligente com sensor CMOS colorido 2/3",
resolução 1280*1024 Pixel, interface Ethernet 100 Mbit/s, CoDeSys
CLP integrado.



Ficha técnica

Característica	Valores
Resolução do sensor	1280 x 1024 Pixel (SXGA)
Fixação da objetiva	Com conexão de montagem C para lentes padrão
Campo de visão	Dependendo da objetiva selecionada
Largura	45 mm
Altura	45 mm
Comprimento	139,4 mm
Entradas	Entrada 1: Sinal do disparador, entrada 2: aceitar entradas
Número máx. de orientações diferentes	8 por tipo de peça
Número máx. de programas de teste	256
Função de seleção	Até 16 tipos/programas de teste
Saídas	Saída 1: disponibilidade operacional, saída 2 e saída 3 podem ser parametrizadas: peças boas, peças rejeitadas, orientação correta, orientação incorreta, iluminação externa
Máx. corrente residual	1,5 A nas saídas 24 V
Tensão operacional nominal c.c.	24 V
Consumo de corrente nas saídas sem carga	120 mA
Flutuações de tensão admissíveis	+/- 10 %
Certificação CE (veja Declaração de Conformidade)	conforme Diretriz EU-EMV
Temperatura de armazenamento	-10 ... 60 °C
Classe de proteção	IP67 IP65
Condições ambientais	Proteção contra iluminação externa ar do ambiente o mais limpo possível
Temperatura ambiente	-10 ... 50 °C
Autorização	C-Tick c UL us - Recognized (OL)
Peso do produto	182 g
Tempo de exposição	8 µs ... 1.000 ms
Taxa de imagens (imagem completa)	27 fps
Tipo de sensor	Cor
Distância de trabalho	Dependendo da objetiva selecionada
Ethernet, velocidade de transmissão de dados	100 Mbit/s
Ethernet, protocolos suportados	TCP/IP, EasyIP, Telnet, ModbusTCP
Ethernet, conector	Conector M12
Interface Fieldbus, tecnologia de conexão	M12 Conector
Ethernet, interface de bus	IEEE802.3U (100BaseT)
Interface Fieldbus	CAN
Protocolos suportados pela interface Fieldbus	Fieldbus CP
Observações sobre material	Isento de cobre e PTFE Conforme RoHS
Informação sobre material, tampão	ABS Reforçado com fibra de vidro
Informação sobre material, corpo	anodizado Alumínio

ANEXO VI

Ficha de manutenção e limpeza

ANEXO VII

Orçamento do equipamento

Material Elétrico

Referência	Designação	Marca	Quantidade	Preço unitário	Preço total
XCSDM379110	Sensor de proximidade	Schneider Electric	8	119,00	952,00
XALK178	Botão de emergência	Schneider Electric	2	18,70	37,40
XVC1M2HK	Torre luminosa de aviso com sirene	Schneider Electric	1	425,65	425,65
T-8INLINE/5100	Linear Feeders	AutomationDevices, Inc	8		*
WAF37CMP80S/KY/RH1M/SM1	Servo motor redutor	SEW - Eurodrive	1	1003,97	1003,97
8 CCW	Mesa vibratória	Vibromatic	8		*
15105783	Linear feeder	Afag	8		*
XUYFANEP400300	Fork sensor	Schneider Electric	8	190,70	1525,60
K10B002ACH	Comutador de came	Schneider Electric	1	14,14	14,14
HARMONY XVL	LED de sinalização	Schneider Electric	3	3,21	9,63
HMIGTW5354	LCD	Schneider Electric	1	675,00	675,00
XPSAK311144	Módulo de paragem de emergência	Schneider Electric	1	114,35	114,35
GV2DM104P7	Arrancador combinado	Schneider Electric	1	102,50	102,50
231,98	Disjuntor- 160A -3 polos	Schneider Electric	1	320,31	320,31
ABT7ESM004B	Transformador	Schneider Electric	1	49,46	49,46
XCSA501	Interruptor segurança	Schneider Electric	12	43,51	522,12
PKE16M414	Ficha	Schneider Electric	1	3,28	3,28
VZ17	Prolongamento do veio	Schneider Electric	1	13,00	13,00
	Tubo anelado	LeroyMerlin	6	2,49	14,94
				TOTAL	5783,35

Material de fixação

Medida	Designação	Quantidade	Preço unitário	Preço total
M10	Fêmea de Segurança	4	0,90	3,60
M10*30	Parafuso Cabeça de Umbrako	4	0,91	3,64
M12	Fêmea de Segurança	4	0,90	3,60
M12*35	Parafuso Cabeça de Umbrako	4	0,99	3,96
M3	Fêmea de Segurança	140	0,09	12,60
M3*10	Parafuso Rosca de Chapa	16	0,06	0,96
M3*12	Parafuso Cabeça de Umbrako Cabeça Cônica	140	0,11	15,40
M3*6	Taco de Umbrako	35	0,12	4,20
M3*8	Taco de Umbrako	32	0,09	2,88
M4	Fêmea	151	0,04	6,04
M4	Anilha de Chapa Aba Larga	35	0,06	2,10
M4	Anilha de Chapa	123	0,05	6,15
M4	Fêmea de Segurança	224	0,09	20,16
M4*12	Parafuso Cabeça de Umbrako	112	0,11	12,32
M4*16	Parafuso Cabeça de Umbrako	144	0,10	14,40
M4*20	Parafuso Cabeça de Umbrako	48	0,07	3,36
M4*25	Parafuso Cabeça de Umbrako	24	0,09	2,16
M4*30	Parafuso Cabeça de Umbrako	16	0,07	1,12
M4*35	Parafuso Cabeça de Umbrako Cabeça Cônica	35	0,10	3,50
M4*55	Parafuso Cabeça de Umbrako	32	0,09	2,88
M4*6	Taco de Umbrako	64	0,09	5,76
M5	Anilha de Chapa	2	0,06	0,12
M5	Fêmea	2	0,03	0,06
M5*10	Parafuso Cabeça de Umbrako	128	0,11	14,08
M5*20	Parafuso Cabeça de Umbrako	2	0,09	0,18

Material de fixação

Medida	Designação	Quantidade	Preço unitário	Preço total
M6	Fêmea	90	0,09	8,10
M6	Fêmea de Segurança	112	0,10	11,20
M6*110	Parafuso Cabeça de Umbrako	24	0,97	23,28
M6*16	Parafuso Cabeça de Umbrako	24	0,09	2,16
M6*25	Parafuso Cabeça de Umbrako	48	0,09	4,32
M6*30	Parafuso Cabeça de Umbrako	32	0,09	2,88
M6*35	Parafuso Cabeça de Umbrako	6	0,12	0,72
M6*50	Parafuso Cabeça de Umbrako	50	0,11	5,50
M6*55	Parafuso Cabeça de Umbrako	8	0,09	0,72
M6*70	Parafuso Cabeça de Umbrako	10	0,81	8,10
M8	Fêmea de Segurança	64	0,07	4,48
M8	Fêmea	90	0,11	9,90
M8*20	Parafuso Cabeça de Umbrako	54	0,09	4,86
M8*20	Parafuso Cabeça de Umbrako Cabeça Cônica	4	0,09	0,36
M8*25	Parafuso Cabeça de Umbrako	16	0,09	1,44
M8*40	Parafuso Cabeça de Umbrako	48	0,11	5,28
M8*45	Parafuso Cabeça de Umbrako	12	0,11	1,32
M8*55	Parafuso Cabeça de Umbrako	8	0,65	5,20
M8*60	Parafuso Cabeça de Umbrako	8	0,20	1,60
TOTAL				246,65

Material FESTO

Referência	Designação	Marca	Quantidade	Preço unitário	Preço total
EHMB-32	Módulo giratório	FESTO	1	2725,5	2725,5
EAMM-A-D60-87-A	Conjunto axial	FESTO	1	239,71	239,71
EMME-AS-70-S-HV-RSB	Motor	FESTO	9	247,87	2230,83
CMMP-AS-C2-3A-Mx	Controlador	FESTO	17	741,67	12608,39
EMME-AS-60-S-LS-AxB	Motor	FESTO	8	672,8	5382,4
EMGA-80-P-G5-SST-87	Reduto 5:1	FESTO	8	460,55	3684,4
CMMP-AS-C5-11A-P3-Mx	Controlador	FESTO	8	1851,08	14808,64
SBOC-Q-R2C	Sistema de câmara	FESTO	1	5262,69	5262,69
SBOA-HMSV-39	Conjunto adaptador	FESTO	1	147,55	147,55
EGC-70-TB-KF-GK	Eixo	FESTO	8	1204,61	9636,88
EAMM-S-D38-42A	Kit de montagem	FESTO	8	151,38	1211,04
EMMS-ST-87-S-SEB-G2	Servomotor	FESTO	8	610,51	4884,08
NEBC-S1G25-K-5.0-N-S1G25	Cabo de conexão	FESTO	9	27,84	250,56
EAHF-L5-80-P	Apoio Central	FESTO	16	29	464
NEBU-M8G3-K-1.5-M8G3	Cabo de conexão	FESTO	9	11,46	103,14
HGPM-08-EZ-G6	Garra paralela	FESTO	8	264,26	2114,08
EMME-BS-45-100-10P	Cilindro com guia	FESTO	8	1116,72	8933,76
EAMM-U-60-D32-57A-91	Kit de montagem	FESTO	8	379,76	3038,08
EMMS-ST-42-S-SE-G2	Servomotor	FESTO	8	235,65	1885,2
DNC-40-20-PPV	Cilindro pneumático	FESTO	1	120,73	120,73
PNU-8X1.25-BL	Tubo flexível	FESTO	5	1,51	7,55
QS-G1/4-8	Conexão Roscada	FESTO	18	2,46	44,28
SGS-M12X1.25	Articulação esférica	FESTO	1	28,61	28,61
DFM-20-30-P-A-GF	Cilindro pneumático	FESTO	16	258,05	4128,8
FRC-1/8-D-MINI-KC	Unidade Combinada	FESTO	1	271,67	271,67

Material FESTO

Referência	Designação	Marca	Quantidade	Preço unitário	Preço total
VUVG-B14-B52-ZT-F-1P3	Conjunto Electroválvulas	FESTO	1	70,89	70,89
QSMLL-3-3	Conector Rápido	FESTO	32	6,66	213,12
SOEZ-LLK-SE-2_0-M4	Sensor Fibra Ótica	FESTO	8	65,89	527,12
				TOTAL	85023,70

Material Mecânico

Referência	Designação	Marca	Quantidade	Preço unitário	Preço total
MS-06.400.N11	Puxador	Rohde	4	16,11	64,44
RAL 9011 (450*750)	Rede	Axelent – x-gard	8	52,75	422,00
CMM-AL-60-SH-8 (428655)	Dobradiça	Elesa	2	10,54	21,08
303-204-D	Mola	Raymod	35	0,79	27,65
21750-x	Mola	Raymod	35	1,12	39,20
5500A	Hopper Feeder	AutomationDevices, Inc	8		*
RE.C6-060-SBL (451930)	Roda Com travão	Elesa	8	8,27	66,16
RE.C6-060-SBF (451940)	Roda Direcional	Elesa	8	11,87	94,96
MK1/20/26/6/10	Mini ShaftCoupling	R+W	8		*
EC-10-M	Corrente	Eurochain (Juncor)	14	13,50	189,00
EC-2030.2	Patilhas em L para corrente	Eurochain (Juncor)	70	2,33	163,10
ESF 204	Chumaceira flangeada	SKF (Casa dos rolamentos)	1	56,58	56,58
281030001	Afinador de corrente (Tensor)	Murtgeldt (Juncor)	2	59,75	119,50
NA4900	Rolamento de Agulhas	SKF (Casa dos rolamentos)	2	18,00	36,00
Diâmetro exterior 37mm	Anel elástico interior		2	0,93	1,86
T40900-x	Mola de extensão	Raymod	8	0,65	5,20

Material Mecânico

Referência	Designação	Marca	Quantidade	Preço unitário	Preço total
F6700ZZ	Rolamento de Esferas	SNR (Casa dos rolamentos)	16	9,07	145,12
Diâmetro interior 10	Anel elástico exterior		32	0,61	19,52
011-015-030	Carreto	Eurochain (Juncor)	4	65,97	263,88
600*400*200	Caixa de plástico	Allibert	3	4,00	12,00
510*410*228	Armário elétrico		1	185,00	185,00
730*530*268	Armário elétrico		1	355,00	355,00
REF: 51 (diâmetro 110 mm)	Tubo flexível	Vougaflex	2	18,20	36,40
618/6 SKF	Rolamento de Esferas	SKF (Casa dos rolamentos)	64	7,13	456,32
				TOTAL:	2779,97

ANEXO VIII

Alimentador – Justificação das soluções adotadas para posicionamentos

ANEXO VIII.I

Alimentador – Cilindro da série EGSL

Posicionamento

Perfis do movimento



PositioningDrives

Versão 2.3.0

01-06-2016

	Mbd	Curso	Massa movida	Força	Tempo de deslocamento		Velocidade	Curso_v	Tempo V	Aceleração	Desaceleração	Tempo de intervalo
					<=, =	[s]						
	[A, R]	[mm]	[kg]	[N]			[m/s]	[mm]	[s]	[m/s²]	[m/s²]	[s]
1	A	300	1	0								0,200
2	A	0	1	0								0,200

Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Eixo:

EGSL-BS-75-300-20P
Conjunto axial:
EAMMA-D60-87A



Motor:

EMM6-ST-87-S-SE-G2
Sem redução



Controlador:

CMM6-ST-C8-7-G2
Unidade de potência
48 VDC

Dados técnicos

Tecnologia de eixos
Guia
Tipo de motor
Máxima temperatura ambiente
Posição de montagem, Eixo

Fuso de esferas
Gaiola de esferas
Passo, "ServoLite"
25 ° C
Horizontal 0 °

Carga calculada a partir de:

Exigido
Curso efetivo 300 mm
Repetibilidade 0,5 mm
Máxima massa a ser 1 kg
Força externa adicional 0 N

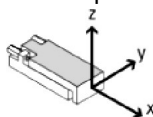
A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento 1,414 s
Tempo de ciclo 1,814 s
Tempo de intervalo 0,4 s

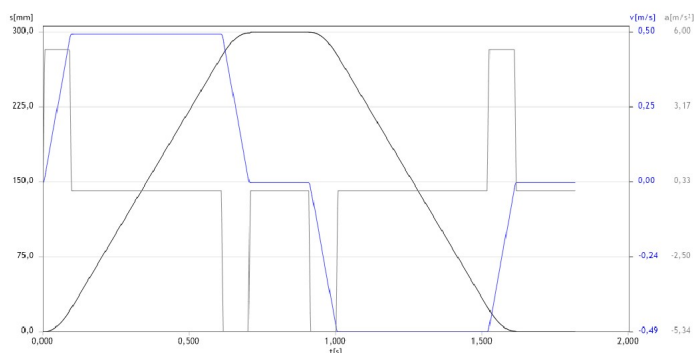
Carga Eixo 5 %
Carga Motor 99 %
Carga Guia 24 %

Distância da carga

Posição de montagem, Eixo Horizontal 0 °
Posição de montagem, Guia Para cima ou para
m = 1 kg **F = 0 N**
X 0 mm
Y 0 mm
Z 0 mm



Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)



Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Eixo Velocidade: 0,493 m/s, Aceleração: 5,337 m/s², Desaceleração: 5,337 m/s²

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

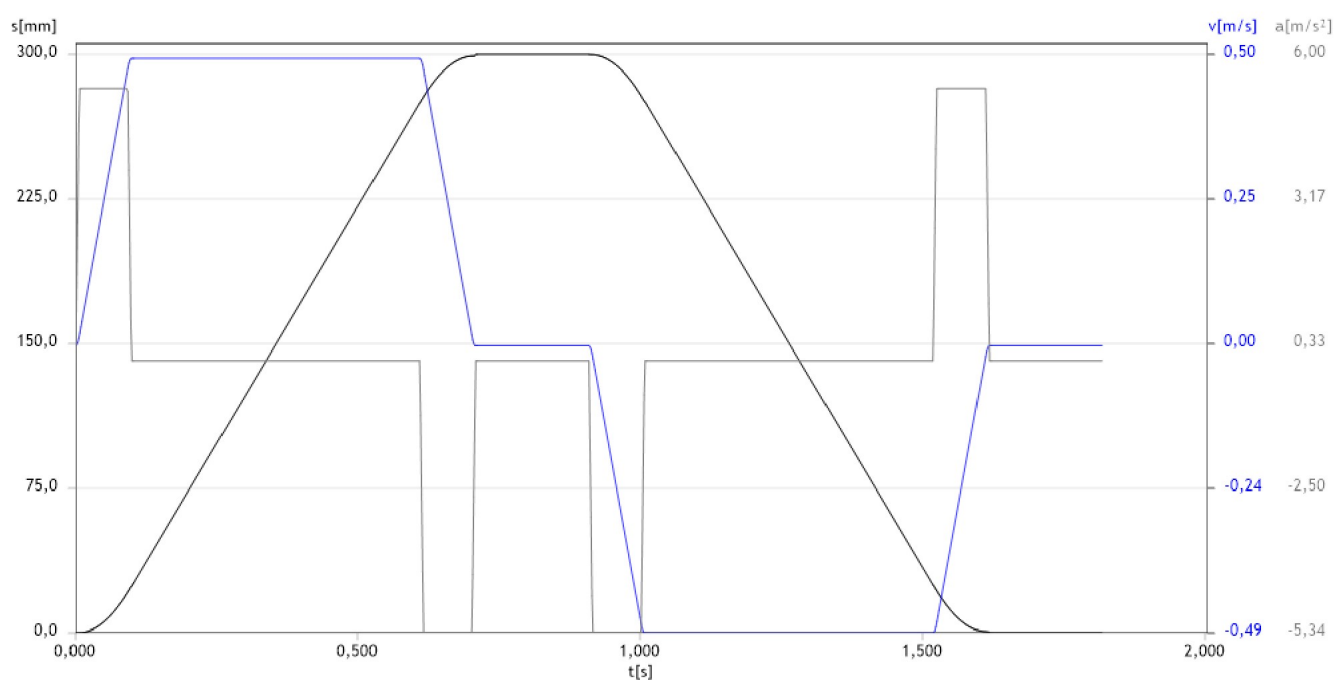
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	1,414 s
Tempo de ciclo	1,814 s
Tempo de intervalo	0,4 s

máximo

Velocidade	0,493 m/s
Aceleração	5,337 m/s ²
Desaceleração	5,337 m/s ²



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

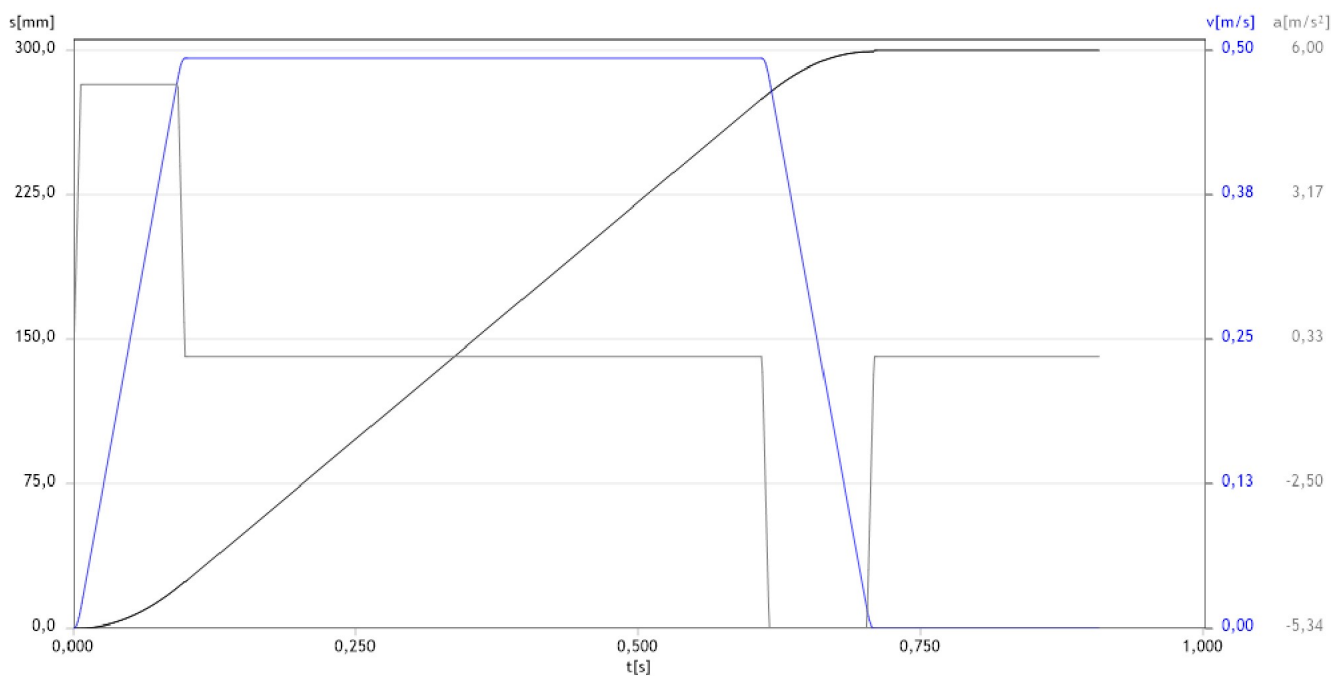


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,707 s	Velocidade	0,493 m/s
Tempo de ciclo	0,907 s	Aceleração	5,337 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	5,337 m/s ²



Posicionamento

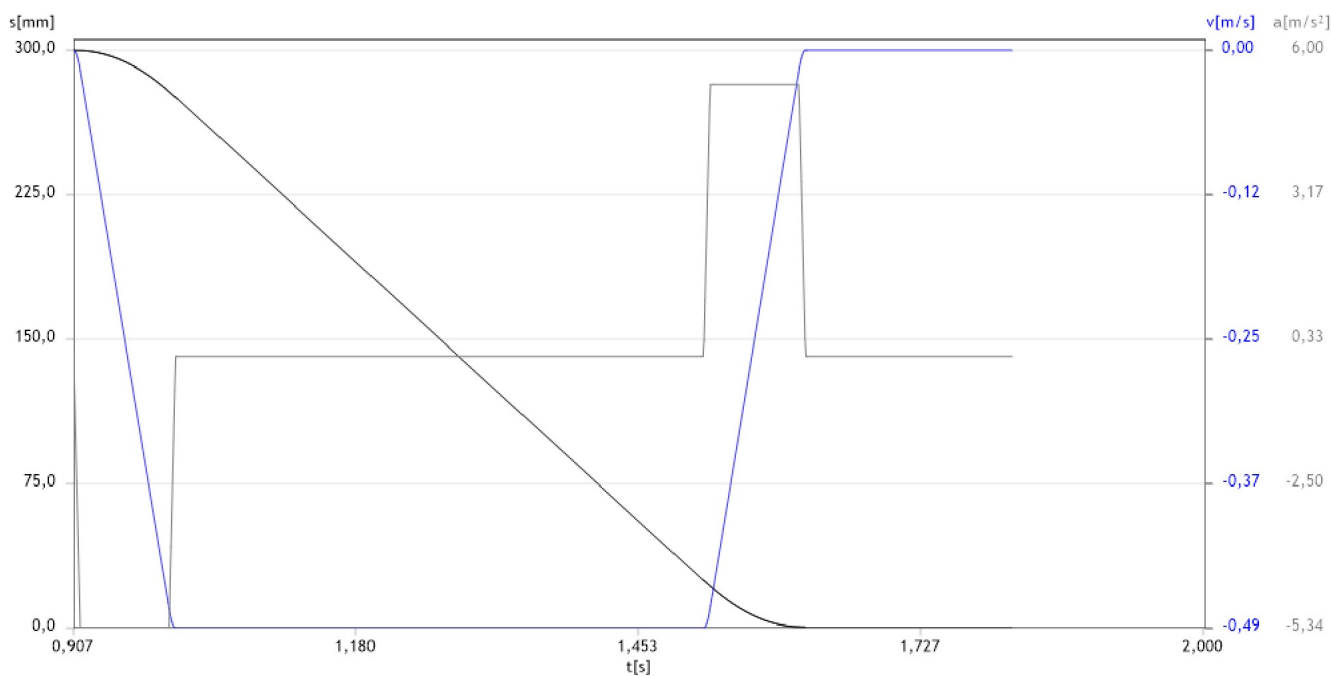
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,707 s	Velocidade	0,493 m/s
Tempo de ciclo	0,907 s	Aceleração	5,337 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	5,337 m/s ²

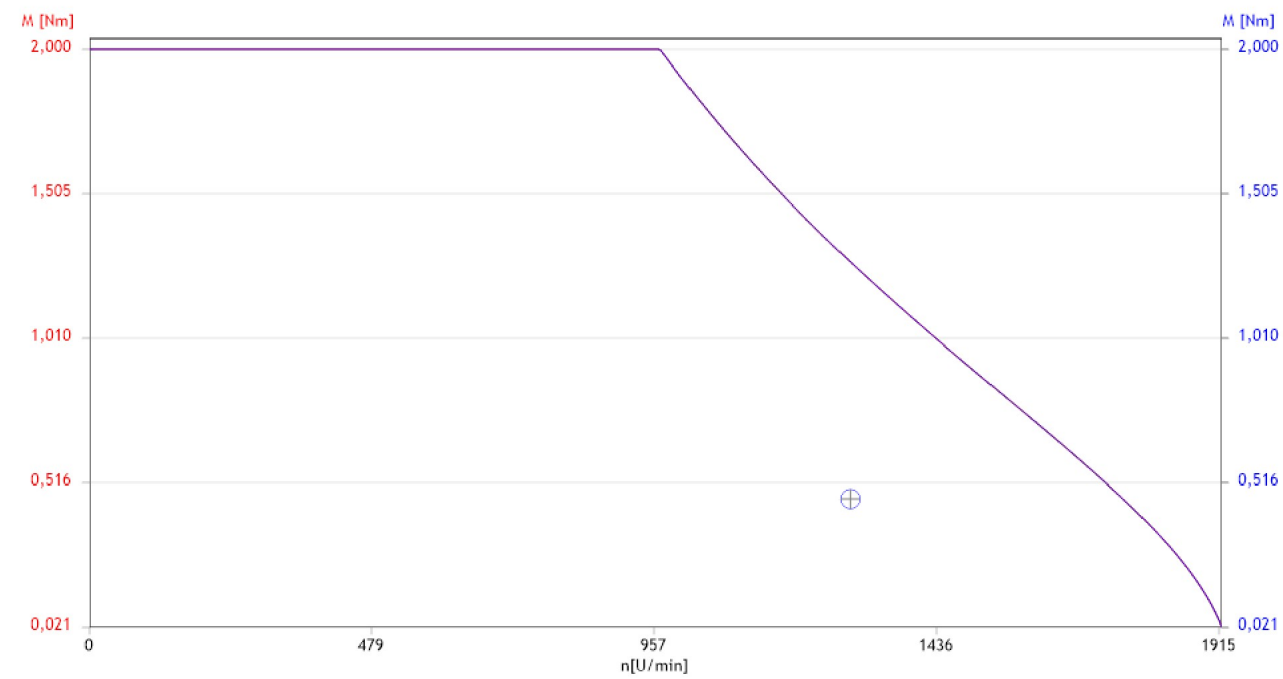


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade de rotação
Torque efetivo Dados dinâmicos



Motor
Torque
Rotation
in
in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Tipo	EGSL-BS-75-300-20P
Velocidade máxima calculada	0,493 m/s
Máxima aceleração calculada	5,337 m/s ²
Força útil necessária	23,5 N
Vida útil: Força de avanço média calculada (Fuso) 15 N	
Torque de pico Fuso	0,48 Nm
Máxima rotação do fuso	1480 rpm
Solavanco máximo	847 m/s ³
Deslocamento durante parada de emergência	6,128 mm
Desaceleração máxima calculada para a maior das velocidades calculadas	
Controlador CMMS ST C G	

Motor

Tipo	EMMS-ST-87-S-SE-G2
Máxima rotação do motor	1480 rpm
Torque de aceleração	0,93 Nm
Torque externo + Atrito	0,46 Nm
Controlador tensão motor de passo	48 V DC
Potência máxima calculada	209,4 W
Corrente máxima calculada	4,3 A
Corrente durante parada de emergência	5,9 A

Momento de inércia

Translatório	0,446 kgcm ²
Giratório	1,339 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	1,785 kgcm ²
Relação do momento de inércia	2,785

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Curso efetivo
Repetibilidade

EGSL-BS-75-300-20P

300 mm

0,015 mm

Força útil

450 N

(Limite para planejamento do projeto)

Aceleração máxima

25 m/s²

Velocidade máxima

1,3 m/s

Momento de inércia

0,344 kgcm²

(Translatório; Massa a ser movimentada no eixo)

Fuso

Constante de avanço

20 mm

Torque máximo

3,2 Nm

Momento de inércia

0,991 kgcm²

Motor

EMMS-ST-87-S-SE-G2

Velocidade máxima (Máx.. Tensão = 48 V)

2130 rpm

Torque de retenção

2 Nm

Corrente nominal

9,5 A

Momento de inércia

1 kgcm²

Máxima temperatura ambiente

50 °C

Controlador

CMMS-ST-C8-7-G2

Tensão de alimentação

Parte lógica

24 V DC

Unidade de potência

24 ... 48 V DC

Corrente nominal

8 A

Corrente de pico

12 A

ANEXO VIII.II

Alimentador – Eixo elétrico da série EGC

Posicionamento

Soluções propostas para eixos elétricos

FESTO

PositioningDrives

Versão 2.3.0



Eixo:

EGC-80-BS-20P-KF-OH-ML-GK

Conjunto axial:

EAMMA-S48-87A



Motor:

EMM6-ST-87-S-SEB-G2

Sem redução



Controlador:

CMM6-ST-C8-7-G2

Unidade de potência

48 VDC

Dados técnicos

Tecnologia de eixos

Guia

Tipo de motor

Máxima temperatura ambiente

Posição de montagem, Eixo

Fuso de esferas

Esferas recirculantes

Passo, "ServoLite"

25 ° C

Vertical 90 °

Carga calculada a partir de:

Exigido

Curso efetivo

300 mm

Repetibilidade

0,5 mm

Máxima massa a ser

15 kg

Força externa adicional

0 N

A solução oferece a seguinte performance:

Tempo de deslocamento

1,436 s

Tempo de ciclo

1,836 s

Tempo de intervalo

0,4 s

Carga Eixo

31 %

Carga Motor

99 %

Carga Guia

13 %

Distância da carga

Posição de montagem, Eixo

Vertical 90 °

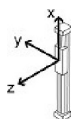
m = 15 kg

F = 0 N

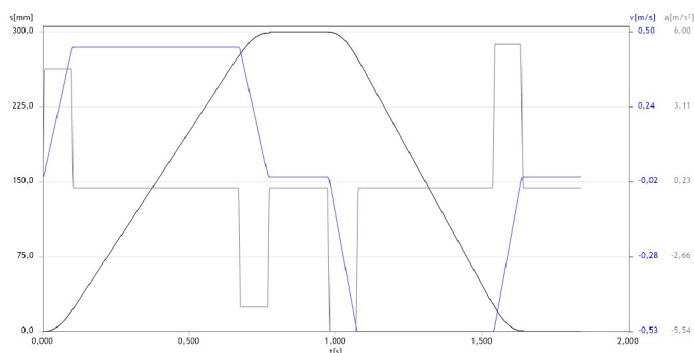
X 0 mm

Y 0 mm

Z 0 mm



Perfil do movimento, veja diagrama (Perfil detalhado do movimento, Tudo)



Certifique-se de que os valores dinâmicos a seguir, nos quais o dimensionamento está baseado, não excedem os valores limite de seu equipamento: Eixo Velocidade: 0,534 m/s, Aceleração: 5,543 m/s², Desaceleração: 5,543 m/s²

Festo Automação Ltda. não se responsabiliza por danos causados pelo uso ou não uso desse software - também em caso de erros. Isso também é válido quando a Festo tinha conhecimento da possibilidade de erro.

Os dados/resultados calculados por este programa servem apenas para descrever o produto e não representam garantia legal de suas propriedades.

A Festo não pode ser responsabilizada se os resultados calculados não forem alcançados, nem por eventuais erros de cálculos.

- Sujeito a alterações -

Posicionamento Gráficos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

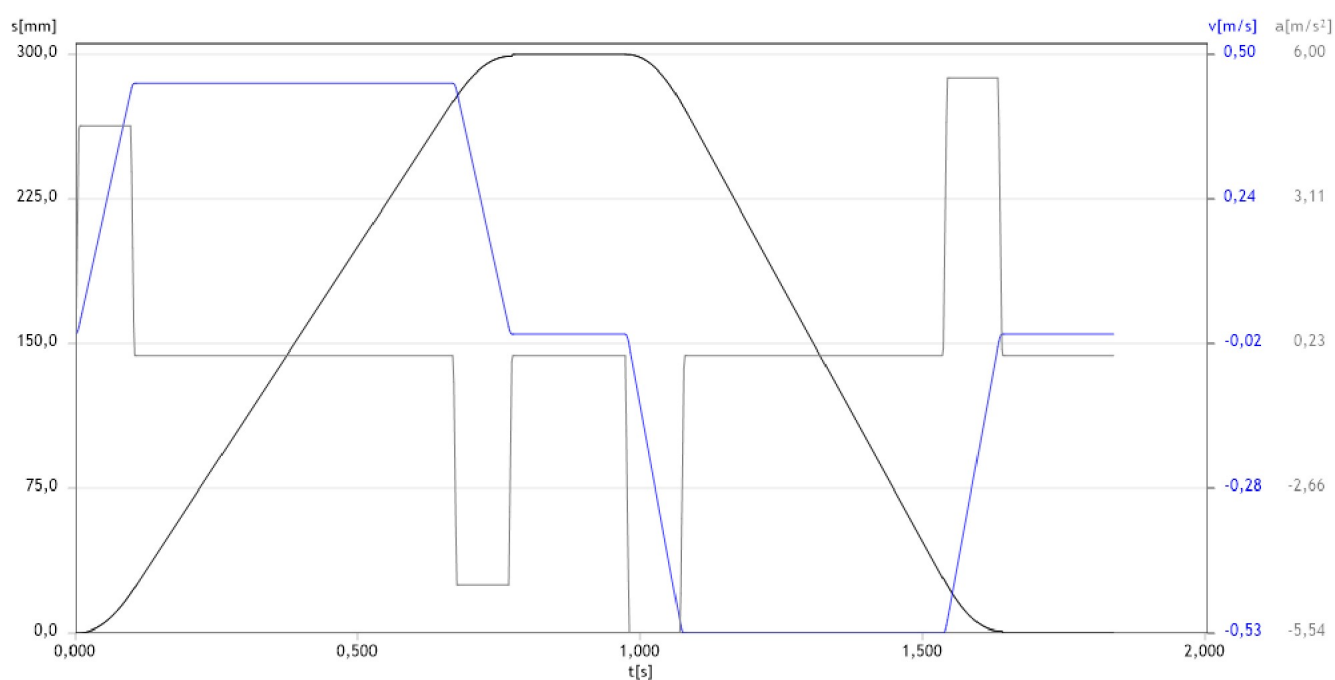
Perfil detalhado do movimento, Tudo

Total

Tempo de deslocação	1,436 s
Tempo de ciclo	1,836 s
Tempo de intervalo	0,4 s

máximo

Velocidade	0,534 m/s
Aceleração	5,543 m/s ²
Desaceleração	5,543 m/s ²



Posicionamento

Gráficos, Detalhes

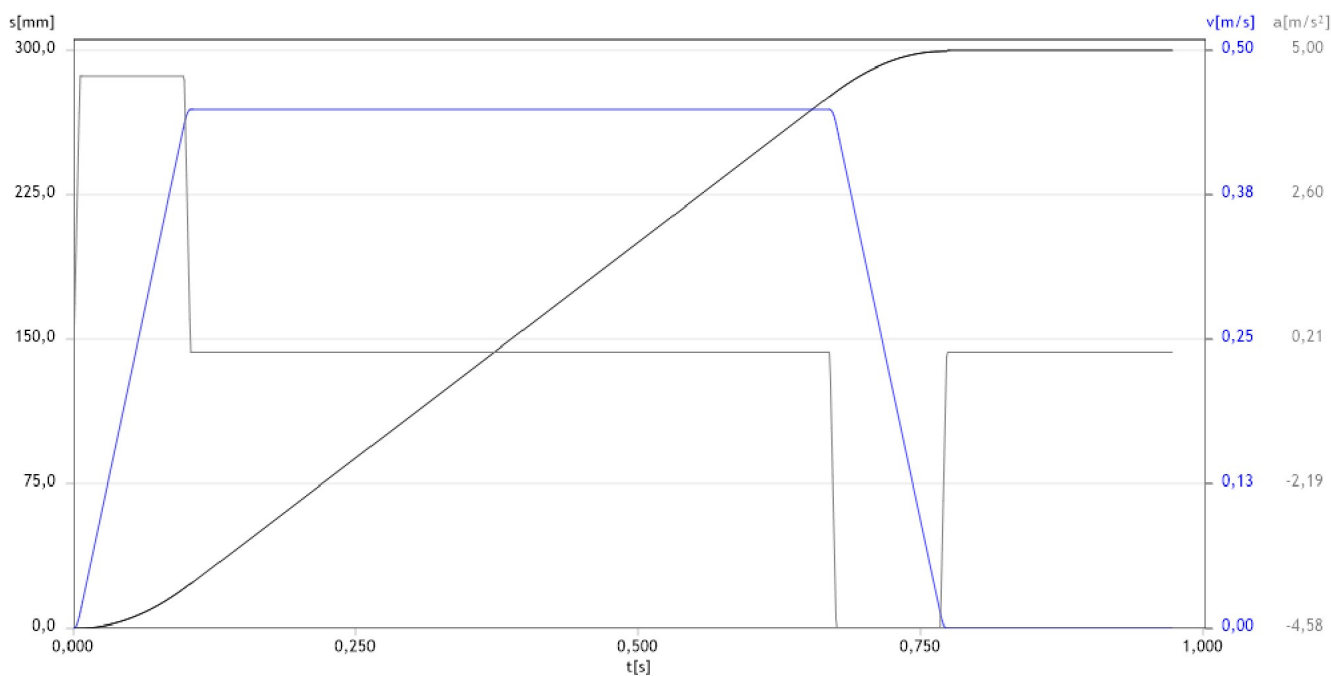


PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo

1

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,771 s	Velocidade	0,449 m/s
Tempo de ciclo	0,971 s	Aceleração	4,584 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	4,584 m/s ²



Posicionamento

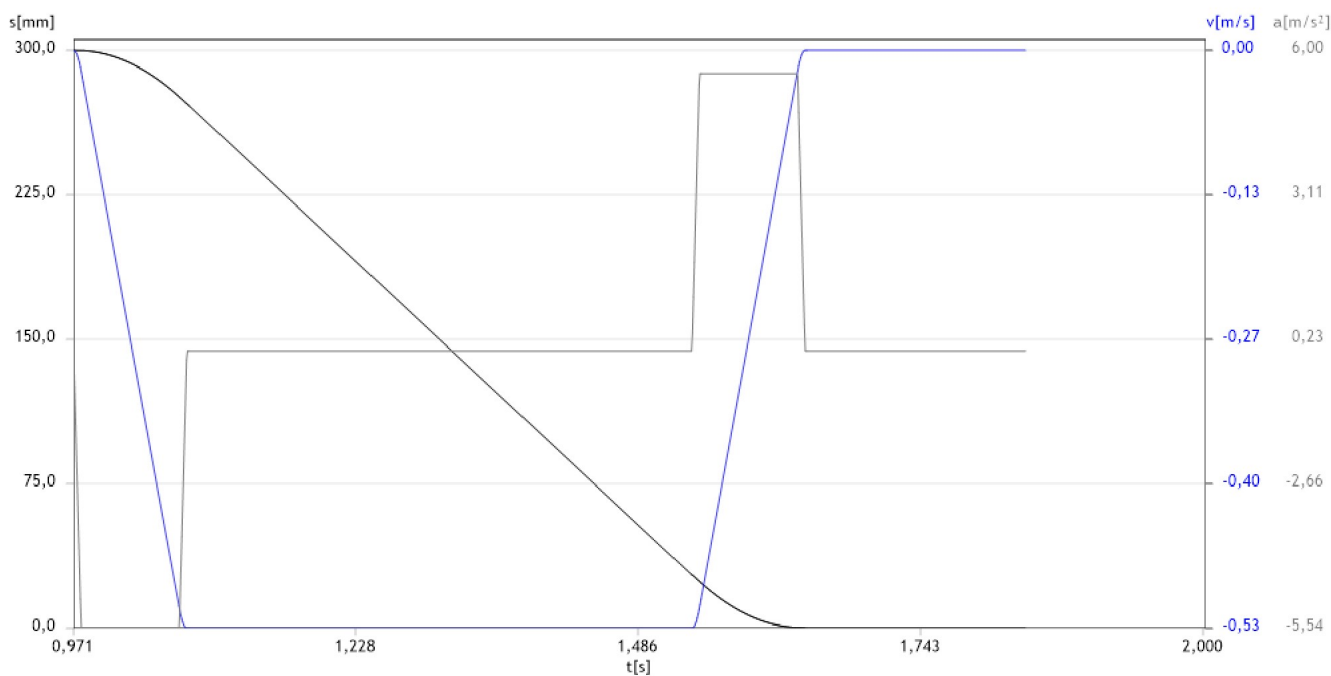
Gráficos, Detalhes



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Perfil do movimento Passo 2

		máximo	
Tempo de deslocamento	0,665 s	Velocidade	0,534 m/s
Tempo de ciclo	0,865 s	Aceleração	5,543 m/s ²
Tempo de intervalo	0,2 s	Desaceleração	5,543 m/s ²

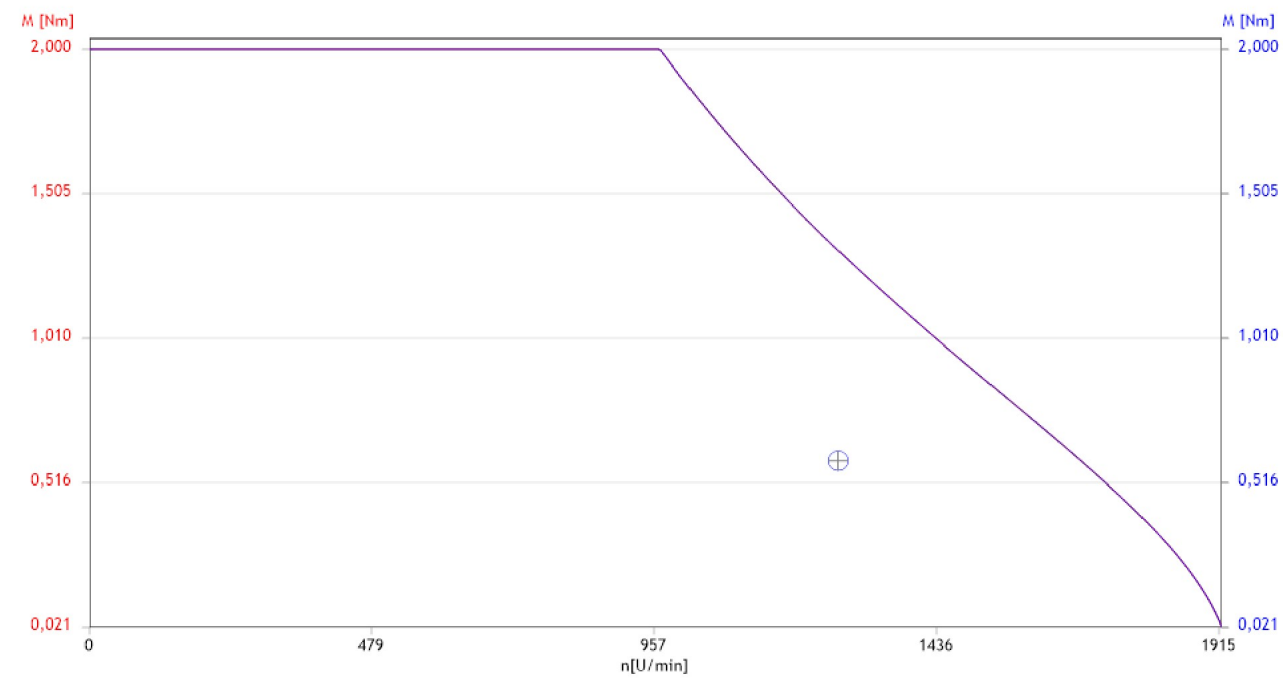


Posicionamento
Motor Gráfico



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Velocidade de rotação
Torque efetivo Dados dinâmicos



Motor Speed Torque
Rotation in
in

Posicionamento

Dados dinâmicos



PositioningDrives
Versão 2.3.0

Eixo

Tipo	EGC-80-300-BS-20P-KF-OH-ML-GK
Velocidade máxima calculada	0,534 m/s
Máxima aceleração calculada	5,543 m/s ²
Força útil necessária	241,7 N
Vida útil: Força de avanço média calculada (Fuso) 165,1 N	
Torque de pico Fuso	0,92 Nm
Máxima rotação do fuso	1602 rpm
Solavanco máximo	819 m/s ³
Deslocamento durante parada de emergência	13,425 mm
Desaceleração máxima calculada para o eixo em função da velocidade máxima calculada	
Controlador CMMS ST C G	

Motor

Tipo	EMMS-ST-87-S-SEB-G2
Máxima rotação do motor	1602 rpm
Torque de aceleração	1,16 Nm
Torque externo + Atrito	0,74 Nm
Controlador tensão motor de passo	48 V DC
Potência máxima calculada	257,4 W
Corrente máxima calculada	5,4 A
Corrente durante parada de emergência	5,5 A

Momento de inércia

Translatório	1,595 kgcm ²
Giratório	0,214 kgcm ²
Momento de inércia externo em relação ao motor	1,809 kgcm ²
Relação do momento de inércia	2,691

Posicionamento

Dados do produto



PositioningDrives

Versão 2.3.0

Eixo

Curso efetivo

Repetibilidade

EGC-80-300-BS-20P-KF-OH-ML-GK

2000 mm

0,02 mm

Força útil

(Limite para planejamento do projeto)

700 N

Aceleração máxima

Velocidade máxima

Momento de inércia

(Translatório; Massa a ser movimentada no eixo)

15 m/s²

1 m/s

0,075 kgcm²

Fuso

Constante de avanço

Torque máximo

Momento de inércia

20 mm

2,35 Nm

0,156 kgcm²

Motor

Velocidade máxima (Máx.. Tensão = 48 V)

Torque de retenção (ServoLite): $\geq 50\%$ Máx.. Torque de

EMMS-ST-87-S-SEB-G2

2130 rpm

1 Nm

Corrente nominal

9,5 A

Momento de inércia

Máxima temperatura ambiente

Torque de retenção (Freio)

1,07 kgcm²

50 °C

2 Nm

Controlador

Tensão de alimentação

Parte lógica

Unidade de potência

CMMS-ST-C8-7-G2

24 V DC

24 ... 48 V DC

Corrente nominal

Corrente de pico

8 A

12 A

ANEXO VIII.III

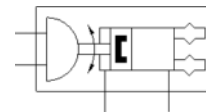
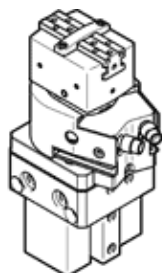
Alimentador – Garra rotativa da série HGDS

unidade giratória com garras HGDS-PP-20-P1-A-B

Código da peça: 1187962

FESTO

com amortecimento elástico e batente fixo.



Ficha técnica

Característica	Valores
Dimensões	20
Faixa de ajuste do ângulo de rotação	0 ... 210 deg
Curso por mordente	7 mm
Folga máxima angular do mordente ax, ay	0,1 deg
Folga máxima do mordente Sz	0,02 mm
Ângulo de rotação	210 deg
Número de mordentes	2
Amortecimento do atuador giratório	Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso, posições de fim de curso ajustáveis, com batente fixo
Posição de instalação	Nos dois lados
Ajuste fino do atuador giratório	-6 deg
Modo de operação	de dupla ação
Função de garra	Paralela
Princípio construtivo	Atuador giratório com garra paralela e atuador de garras
Deteção de posição, garra	com sensor de proximidade
Deteção de posição, atuador giratório	com sensor de proximidade
Pressão de trabalho	3 ... 8 bar
Frequência máxima oscilante a 6 bar	2 Hz
Tempo mínimo de abertura a 6 bar	60 ms
Tempo de fechamento mínimo a 6 bar	70 ms
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2
Temperatura ambiente	5 ... 60 °C
Força de fixação por castanha a 6 bar, na abertura	96 N
Força total de fixação a 6 bar na abertura	192 N
Força de fixação por castanha a 6 bar, no fechamento	84 N
Força total de fixação a 6 bar no fechamento	168 N
Força máxima no mordente Fz estática	250 N
Torque máximo no mordente Mx estático	22 Nm
Torque máximo no mordente My estático	22 Nm
Torque máximo no mordente Mz estático	22 Nm
Torque teórico a 6 bar	2,5 Nm
Massa máx. por mordente externo	100 g
Peso do produto	1.260 g
Tipo de fixação	Opcional: Rosca interna e bucha centralizadora Com furo passante e bucha centralizadora com ranhura do tipo rabo de andorinha
Conexão pneumática	M5
Informação sobre material, eixo propulsor	Aço
Informação sobre material, tampão	Alumínio POM
Informação sobre material, vedações	NBR
Informação sobre material, corpo	Liga de alumínio
Informação sobre material, mordentes	Aço alta liga, inoxidável

ANEXO IX

Submissão de artigos em revistas

ANEXO IX.I

International Journal of Mechanics and Materials in Design

International Journal of Mechanics and Materials in Design

A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry
Article Type:	S.I. : Integrity, Reliability and Failure
Keywords:	Full-automated equipments; Assembly process; Flexible production; Agile manufacturing; Automation; Automotive industry
Corresponding Author:	Francisco J. G. Silva, PhD ISEP - School of Engineering, Polytechnic of Porto PORTO, PORTO PORTUGAL
Corresponding Author's Institution:	ISEP - School of Engineering, Polytechnic of Porto
First Author:	Francisco J. G. Silva, PhD
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Francisco J. G. Silva, PhD Ricardo JS Costa, MSc Raul DSG Campilho, PhD
Funding Information:	
Abstract:	<p>Automotive industry has been changing considerably in the last decades, requiring lesser quantities by order and increasing the products variety, due to new market demand and the need to become the product characteristics closer to the customer needs. Thus, production paradigms have been changing, requiring an increased flexibility of the systems and equipments used in the industry. Hence, full-dedicated equipments to some products and tasks are being replaced gradually by others following the currents market trends.</p> <p>This situation gives rise to engineering exchanges, which can only be overcome with the automation aid. Indeed, studying conveniently the geometry of the parts involved and if there are common shapes those can be used as reference in all of them, equipments should be designed in order to take advantage of the benefits offered by automation and allow a better universality of the tasks to develop in the equipment. Thus, It is up to the designer to define all the degrees of freedom required for the equipment to enable their use as widely as possible. A proper integration of the mechanical design and automation allows infinite possibilities to solve the major part of the existing concerns. Furthermore, the design concept should also realize the system production needs, facilitating by this way the equipment designers' action. The use of jigs provided with fast fixing systems, adapted to the product changes, can also be a considerable help in this process.</p> <p>This work was developed with a view to increasing flexibility in assembly systems of components for the automotive industry, drawing a novel procedure to develop new products able to be produced in the equipments already in service. Furthermore, a case study was developed showing how this concept can be put on the shop-floor. Car windshield wipers motor housing is usually doted of some fixing elements whose allow its assembly in the car chassis. The previous motor housings are in metallic alloys but, currently, many of them are in polymer due to its lower weight and cost, whose have slots where must be assembled rubber washers and metallic bushings. There are a lot of different models, requiring smaller quantities per order and permanently production changes. Thus, the equipment needs to be able to assemble the larger volume of different part numbers, providing the minimum setup time possible. The equipment designed allows producing more than twenty different part number of the same family, requiring a simple jig change in the equipment and the bar code reading in order to get ready to other part number assembly task.</p>
Suggested Reviewers:	Dragan Vasiljevic, PhD Professor, Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade dvasiljevic@zis.gov.rs

	<p>He is an expert in terms of manufacturing processes optimization.</p>
	<p>Lianyu Zheng, PhD Professor, School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing, China lyzheng@buaa.edu.cn He is an expert in mechanical systems related to productivity improvement and flexibility.</p>
	<p>Hoda ElMaraghy, PhD Professor, University of Windsor Faculty of Engineering hae@uwindsor.ca He is an expert in production systems, automation related to manufacturing processes, optimization of assembly processes and so on.</p>
	<p>G. Chryssolouris, PhD Professor, University of Patras, Greece xrisol@lms.mech.upatras.gr He is an expert in manufacturing processes and automation.</p>

A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry

Ricardo J. S. Costa

Mechanical Engineering Department

School of Engineering, Polytechnic of Porto

Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal

ricardo_costa_rc@hotmail.com

Mobile: +351 932 912 672

Francisco J. G. Silva

Mechanical Engineering Department

School of Engineering, Polytechnic of Porto

Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal

fgs@isep.ipp.pt, franciscosilva63@gmail.com

Mobile: +351 925 302 090

Raúl D. S. G. Campilho^a

^aMechanical Engineering Department

School of Engineering, Polytechnic of Porto

Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal

raulcampilho@gmail.com, rds@isep.ipp.pt

Mobile: +351 939 526 892

A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry

Ricardo J. S. Costa^a, Francisco J. G. Silva^{a1}, Raul D. S. G. Campilho^a

^a*Mechanical Engineering Department*

School of Engineering, Polytechnic of Porto

Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal

¹Corresponding author: fgs@isep.ipp.pt

ABSTRACT

This work was based on a request made by a multinational company dedicated to the assembly of components for the automotive industry. This company, from a diverse range of sets produced for the automotive industry, has a sector particularly dedicated to the assembly of components for the vehicle widescreen washers.

The assembly service is currently performed strictly in a manual manner, which implies the use of a lot of unskilled manpower, uncertain in terms of quality assurance and a cycle time considered uncompetitive, making the rate of produced parts greatly reduced. The challenge of this work was to design a full-automated equipment capable of carrying out these assembly tasks, which tackles all the requirements in the market, making it more effective than the manual work. In addition to this challenge, this family of products comprises more than twenty different models and, according to the company's requirement, which welcomes this project, should be contemplated, through a high flexibility of the systems, enabling an agile work preparation.

Keywords: *Fully-automated equipments, Assembly process, Flexible production, Agile manufacturing, Automation, Windshield wipers cover housing*

Funding sources

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

1. INTRODUCTION

Nowadays, the automotive industry is a very competitive market, which has a global scope, leading to strategic changes by the automakers and the suppliers' facilities. The use of strategies such as modularization, platforms and shared components, subcontracting companies, among others, allows taking advantage of economies of scale and assembly efficiency mainly by splitting or sharing responsibilities with suppliers in terms of design, development and manufacture (Inteli 2005).

As time goes by and with the consequent development of technology, most industries have chosen to replace manpower by capital-intensive models, making massive use of technologies such as robots and fully automated assembly equipment. Taking the United States of America as an example, its economy is based on intensive capital comparing to undeveloped countries where the manpower is the main solution to put the industries working. This clearly is a consequence of the introduction of more advanced technology and equipment, which resulted in an increase in productivity (Ford 2009).

With the use of automated systems, in contrast to fixed systems (manpower), one guarantees greater production flexibility, as well as greater diversification of demand and market segmentation (Moniz 2006). However, not always the need appears linked to competitiveness factors: in many situations, it is necessary to implement such systems due to tasks with high hazard index, as they may endanger the physical or psychological integrity of workers (Nunes and Silva 2013). However, the evolution of the automotive and automation sectors goes side by side, since the large number of components that make up a vehicle involve the development of automatic systems capable of contributing to a significant increase of productivity and flexibility (Araújo 2016). The factors that, usually, take companies to bet on the increase of the automation' level are the following (Groover 2000): increase productivity; reduce production costs; increase the product quality; reduce delivery times; perform tasks that cannot be performed manually; avoid costs of non-automation; and reduce or eliminate manual routines. It is highly important to have a rapid response capability that is reliable and trust worthy regarding to the requests of customers for new products (Michalos et al. 2010).

The increased use of automation in the industry, particularly in robotics, is due to the significant improvement of product quality, to the improved working environment, to the improved cost efficiency and to a high increase in process flexibility, so to cover the various references of articles (Tansellİç et al. 2013). Comparing the work done by a human to that of a robot, it is easily seen that the last one provides a much higher accuracy. This is because robotics is used when they are needed: high positioning accuracy, high repeatability and high accuracy inspection. To meet the previously stated requirements, human being needs high concentration levels for extended periods of time, which may affect the production and quality due to fatigue (B.B.A. & R. Association 2016; Yamauchi 1993). Many jobs are hostile to the human body, such as painting stations, which may be carcinogenic; or printing equipment that have high levels of noise, which may affect hearing. In these situations, the implementation of robots eliminates all these problems, since they can easily cope with these environments without threatening themselves. The use of this equipment is exemplified in nuclear power stations and repair reactors; this environment, of course, excludes the use of human beings in this work. Accordingly, they are replaced by robots (B.B.A. & R. Association 2016; Kumar and Garg 2010). However, the use of automated equipment and robots becomes also advantageous when it is necessary to have high flexibility and speed. Thus, the solution is reprogrammable by automation, thereby giving the use of dedicated tools (Kumar and Garg 2010). To perform hard and dirty work during extensive working hours is wearing and can cause injuries, which may lead to a very quick drop in the workers' motivation. For these reasons, companies like BMW and VW have robots that help workers at the assembly lines. The aim of this type of implementation is not to replace the human being with robotic equipment but to help workers in their daily tasks, making them safer and more productive (Bélanger-Barrette 2016). In these cases, the robot is an important factor to increase productivity without the worker being susceptible to unnecessary risks, and enabling the worker to be redirected to more added-value functions or activities. The success of an industry depends on the capability of its productive system to be flexible and to be able to reconfigure itself in accordance with the requirements from the market (Koren 2010).

1 The fascination for robotics arises not only for its content of technological
2 development, but with the desire to realize how evolved is the thought of human
3 beings since the beginning. Robotics has always been associated with something
4 that belongs to the realm of fantasy or which originated in the darkest desires of
5 humanity (Thomas and Kurfess 2005; Wise 2005). Thus, it is easily understood
6 that automation and robotics are synonyms of flexibility, agility, ergonomics,
7 quality and production time, among others. In fact, these aspects are highlighted
8 for the design of this project, because the developed equipment will be
9 implemented in an automotive industry in order to do the assembly of rubbers and
10 bushings into a hull of a widescreen washer engine, which requires different
11 levels of competitiveness to increase productivity and to optimize the
12 manufacturing cost.

13 This work intends to create novel equipment able to assemble a series of different
14 sets belonging to the same family but having a lot of specificities in terms of
15 geometry. The equipment's flexibility, allowing an easy adjustment to the existing
16 and future geometrical variations in this kind of assembly processes without the
17 use of expansive robots is the real contribution of this study. This makes this
18 assembly process more agile, using a lot of standard devices that can be used for
19 other purposes at the end of the life cycle of this product or being easily adapted
20 for other kind of assembly process.

2. METHOD

21 This work intends to develop a new concept of equipments based on a simple
22 structure as needed for complex concept (robotics, for example), surrounded by
23 smart and relatively cheap devices adopting a medium or high level of
24 automation, which can be further used for other equipment, allowing a high grade
25 of agility and flexibility, perfectly comparable to the use of robots but occupying
26 smaller area and covering a large number of products from the same family.
27 Moreover, products can be developed under some guidelines allowing that their
28 geometry can be easily adapted to the equipment. The concept is presented based
29 on a case study, enabling a better perception of main ideas behind the concept.
30 This chapter is divided into two sections: first, the identification of the problem

and the characteristics of the housings of the widescreen washer engines will be presented; then the first approach will be presented, taking into account the basic concepts (requirements and conceptual solutions) for the planned equipment.

2.1 The problem

Plastic housings (Figure 1) are intended to protect and support all components necessary for the proper operation of a widescreen washer engine. These housings adopt a wide variety of shapes, as well as the number of fixtures (rubber or bushings), which may be round or oval (Figure 2).



Fig. 1 Plastic housings

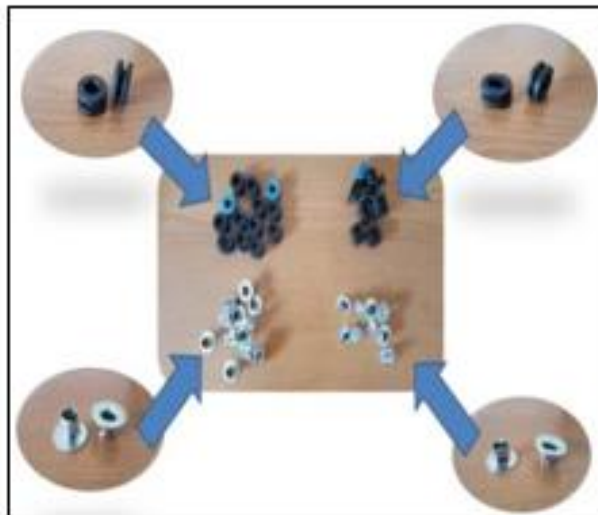


Fig.2 Different types of accessories

The work associated with the assembly of these components is currently completely "handmade", that is, done by manpower. Therefore, the equipment must be able to adapt itself to all the housing references and to have enough flexibility to allow the assembly of new housing models with different

geometries. As shown in Figure 3, the equipment must have the ability to be positioned angularly in relation to the part (a) and height adjustment to the accessories introduction (b).

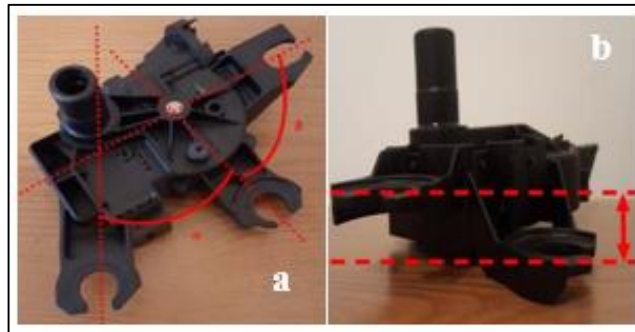


Fig. 3 a) Angular adjustment for parts assembly / b) Vertical displacement

Although they have a very complex geometry, the housings can also provide points of similarity, as depicted in Figure 4, which have become particularly useful in the development of this equipment.



Fig.4 Similarities: a) height of the tubes; b) pipe diameter; c) distance from the hole center to the pin center

In the following picture (Figure 5), one can observe the assembly sequence of the rubbers and bushings. Thus, the developed device has to perform this same sequence, in order to have a bigger competitiveness when compared to the current assembly system carried out by workers.

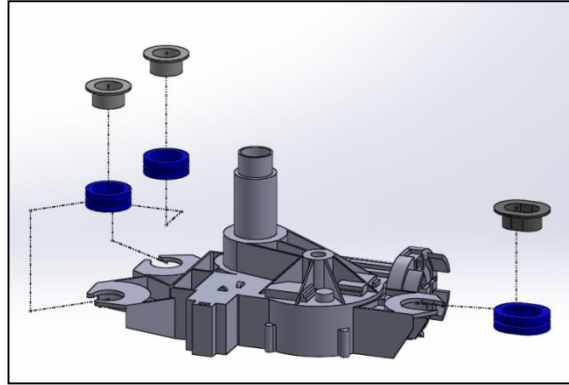


Fig.5 Assembly sequence of the accessories on the housings

2.2 Requirements

The equipment design decided to follow some requirements, which are listed next, describing as well the main concerns taken into account during the design process.

- (a) **Flexibility** – As already mentioned, currently, the entire process is made manually; therefore, the designed equipment should replace manual labour. Thus, it is understood that this equipment should be fully flexible to cover all existing references and some additional that may appear. Thus, the machine must have enough setups: for each reference associated to each housing, there is a setup that will enable the machine to adapt itself to introduce the accessories into the housing in terms of angular and height position. It is extremely important that this equipment is fully automatic, to ensure its full independence from the worker;
- (b) **Agile manufacturing** – Agility and the adaptability of the components associated with the equipment become fundamental for this to happen, because it is essential that the feeders are positioned with high accuracy and the actuators work with high precision and as quickly as possible.
- (c) **Quality** – First comes the quality of the work to be done, which should be as accurate as possible in order to reduce/eliminate the amount of nonconforming parts, thereby obtaining greater profitability of the process; then the quality associated with the worker (ergonomics), whose presence is only required for the equipment supply and maintenance.
- (d) **Material reutilization** – The material used in this equipment such as actuators, sensors, guides, among others, can be reused for other equipments, if it is dismantled because it no longer fulfils the manufacturing needs of the company,

and this can happen for two reasons: the production of these housings halts due to the emergence of other models that the machine cannot produce or due to commercial or financial reasons.

3. RESULTS

3.1 Adopted solutions

The equipment shown in Figure 6 was developed to comply with the previously listed requirements. The machine is all automated, allowing the reduction of the constant presence of manpower and ensuring the operator satisfaction, whom can focus his attention in other activities worrying only with the equipment feeding.

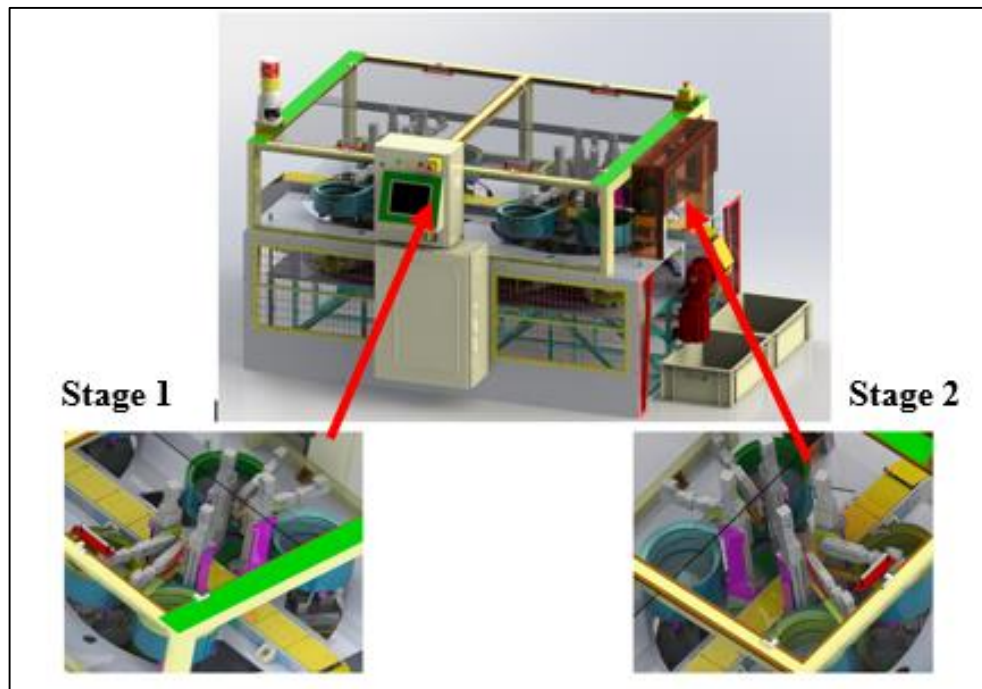


Fig. 6 Developed equipment

The first and second stages refer, respectively, to the introduction of the rubbers and of the bushings in the plastic housings. In order to reduce the cycle time, the vibratory bowl feeders are positioned angularly in relation to the housing position (Figure 7), and motion transmission is performed using a servo motor, a pinion and a rack. Subsequently, these feeders should be positioned vertically, that is, the feeders must raise its position with the aid of two electric cylinders (Figure 8). When all feeders are properly positioned, an index conveyor provided with jigs corresponding to the housing geometry becomes loaded with housings so as

to move all together along the assembly line – when the first housing reaches the work center of stage 1, all electrical cylinders introduce a rubber, and these are introduced simultaneously into the hull.

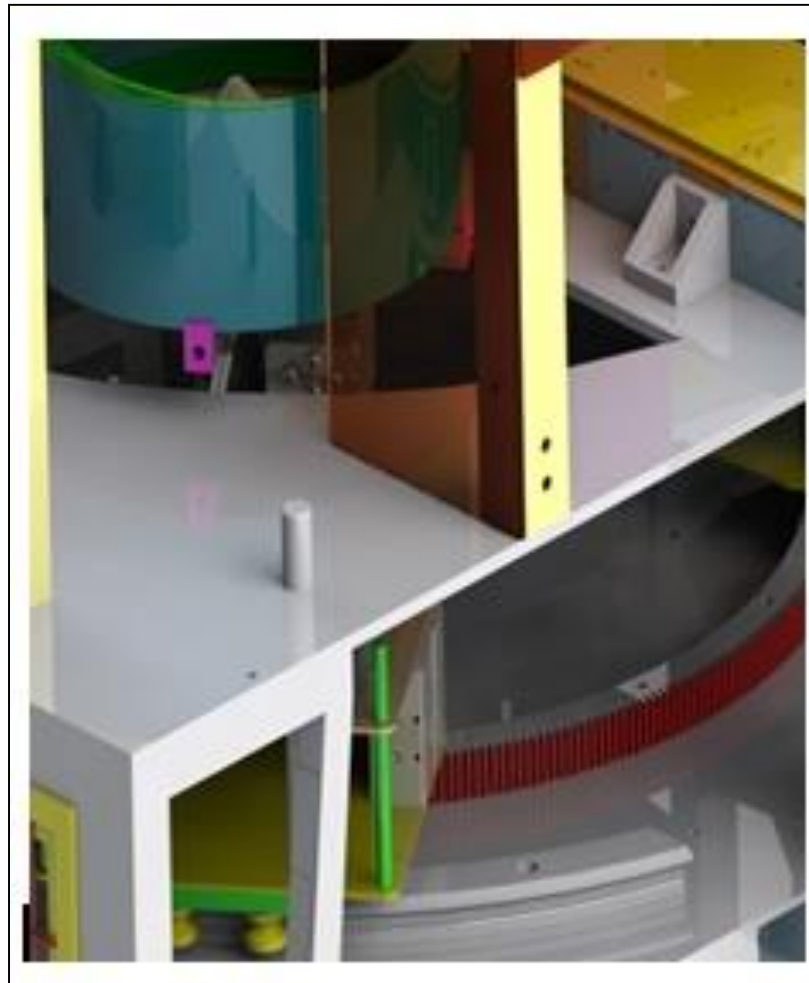


Fig. 7 Angular positioning of the feeders

The equipment setup comprises as well the jigs assembly, which carries the housings along the equipment. These jigs will be provided with proper and easy fixture systems, and can be easily mounted or extracted from the conveyor in each setup. The jigs will be made in Polyamide, made by machining and will be provided with the adequate geometry in order to ensure an accurate holding system during the carrying process along the equipment.

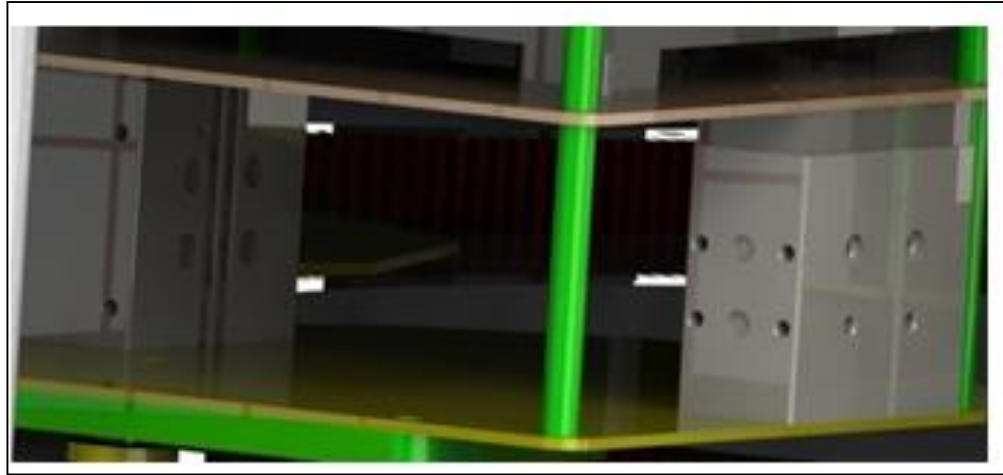


Fig. 8 Lift cylinders of vibratory feeders

When the first housing, already equipped with the rubber, reaches stage 2, the bushings are assembled vertically. It should be noted that the two stages work simultaneously, that is, when the first housing that was inserted in the conveyor reaches stage 2, the rubbers and bushings assembly is performed simultaneously, thereby ensuring a reduction of the cycle time. Concerning the pick-and-place for the introduction of the rubbers (Figure 9), it is important to note that these are electronic. The pneumatic cylinders would also be a good choice and would decrease the costs associated therewith. However, it would be necessary to manually change the limit switches. Therefore, by opting for electronic cylinders, it is guaranteed that these will expand just enough to each case and that the cylinders are able to work without human intervention. This is because the rubber location changes from hull to hull, when choosing the reference to manufacture. The cylinders are also enabled to work independently, as the limit is given by data that the cylinder controller has stored in memory for each reference. Both pick-and-place that equip the feeders of rubbers and bushings are setup in the same way, as shown in Figure 10. They only differ in the motion sequence associated with each stage. Lastly, it is necessary to say that all the feeders can be interchanged, i.e., normally, the pick-and-place is set up at the inner side of the feeder, which would lead to a necessary deduction of the feeder diameter and would cause an angle limitation; in order to solve this, it was decided to leave the feeder container in a way that can be dismantled, because if a larger angle is necessary, one can change the containers and pick-and-place's position, getting them on the opposite side from its original position.

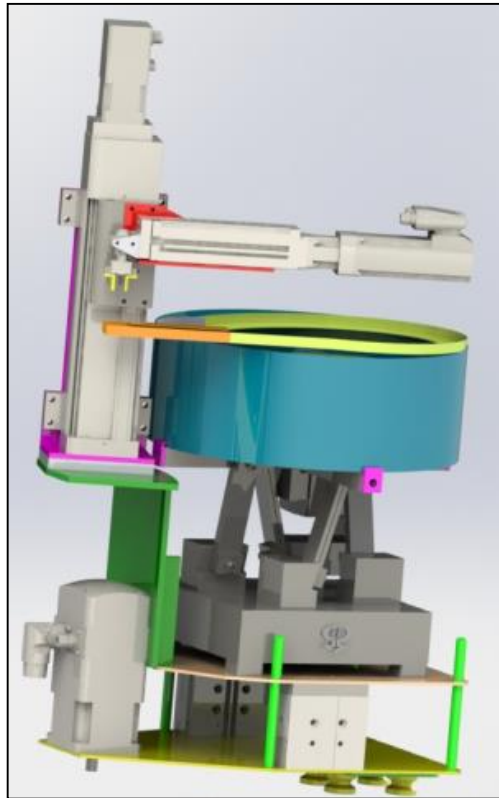


Fig. 9 Vibratory Bowl Feeder

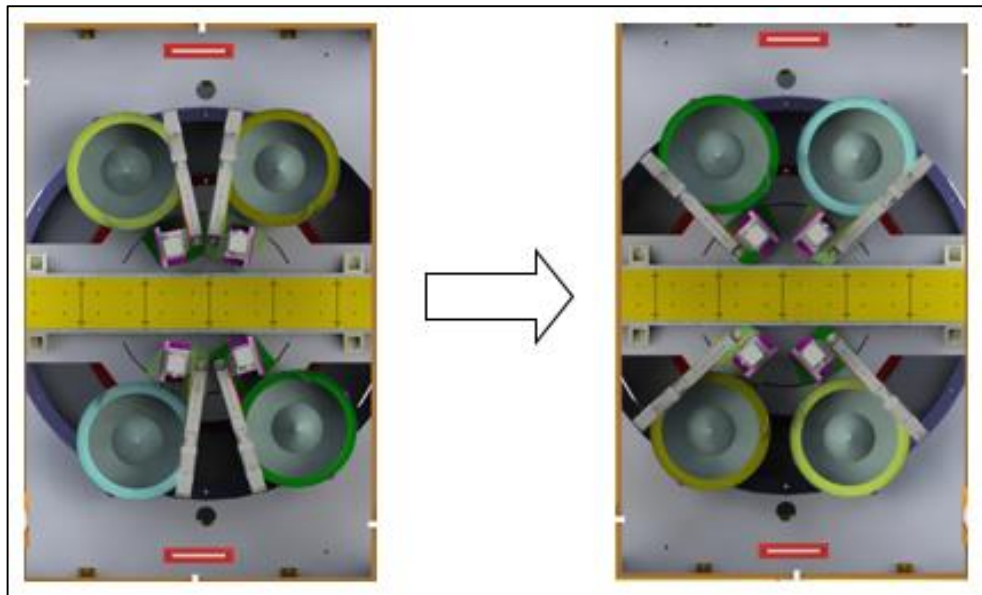


Fig. 10 Interchanged feeders to increase the equipment's flexibility

In order to ensure a high level of quality and to reduce the amount of non-conforming parts, a camera was installed at the end of the production line to make

1 a comparison of produced parts with images of a well assembled set that this
2 equipment stores in memory.

3 Thus, the parts are compared one by one. However, it was stipulated two
4 parameters to halt the equipment's production in order to avoid large quantities of
5 non-conforming parts. These parameters are:
6
7

8 (a) The machine must stop if five consecutive parts are non-compliant – it is
9 assumed that, if this happens, the machine may not have been well positioned and
10 some accessories are not being properly seated in the housings;
11
12

13 (b) The machine must stop if, for one minute, twenty pieces are evaluated as
14 non-compliant. This aspect comes only to cover the possibility of accessories
15 (rubbers and bushings) having some kind of defect. However, if this aspect is met,
16 it is necessary that the operator checks what is wrong in the machine.
17
18
19
20
21



40
41 **Fig. 11** Stage 3: Inspection area
42
43

44
45 After inspection, the parts fall into the OK or NOK boxes, whose should be
46 emptied by a logistics worker when it reaches the limit of its capacity, allowing
47 the housings to be always accommodated within boxes and facilitating
48 transportation for later packaging. After the previously programmed number of
49 sets is reached, the machine will alert the worker to change the box through a light
50 signal.
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

3.2 Constructive solutions

3.2.1 *Equipment control (Display)*

All the equipment is controlled by a display, which has a touch screen. In this screen, all the references are presented, so that, by choosing a reference, the setup of the machine starts. During the production time, will be presented on the screen the amount of accessories used, the amount of accessories that each feeder still has (if the operator wishes to add accessories in a particular bowl, must pause the machine, add accessories and enter in the screen how many he added) and the amount of produced parts, i.e., whenever a component is successfully completed the successfully completed carcasses counter will increase by one unit.

In addition to presenting information on the production, the touch screen will display information concerning possible anomalies that may occur. These anomalies (ERROR) can be one of the following types:

- Lack of round rubbers;
- Lack of oval rubber;
- Lack of round bushes;
- Lack of oval bushes;
- Error in servomotor X;
- Error in the pick-and-place X;
- Error on the index conveyor;
- Error in the lifting cylinder X;
- Failure in the visual inspection.

The worker should try to correct the error on the display, if it is a computer error (no error present). If the error is of mechanical origin (error present), a troubleshooting menu will appear with all the necessary information to try to correct the problem, from measurement values, wiring diagrams and, ultimately, there will be the option that presents the correct method to remove the broken part. Furthermore, all the main safety switches are located around the display in order to make easier any worker action in case of troubles, as i can see in Figure 12.



Fig. 12 Equipment display

This equipment has proximity sensors on all windows to ensure that this will only work if completely closed, protecting the workers who are in the same area as the machine.

3.2.2 Index Conveyor

The index conveyor works on the table, turning around below it. This position ensures that the entry of the hulls is performed when the conveyor pallet is completely horizontal. Accordingly, and as mentioned earlier, the hulls will fall into a bin.

As it can be seen in Figure 13, this index conveyor has four holes on the pallet. These should position and secure the jigs, ensuring that all pieces positions are valid. Thus, as it is possible to change the position of jigs and even jig itself, if new models of parts appear, it is enough to design a new jig so that the piece can be manufactured, always ensuring that the mandatory dimensions keep as previously defined. If this happens, it is necessary that the worker removes the jigs

and places new supports. However, the projected jigs can cover a range of approximately 25 different references.

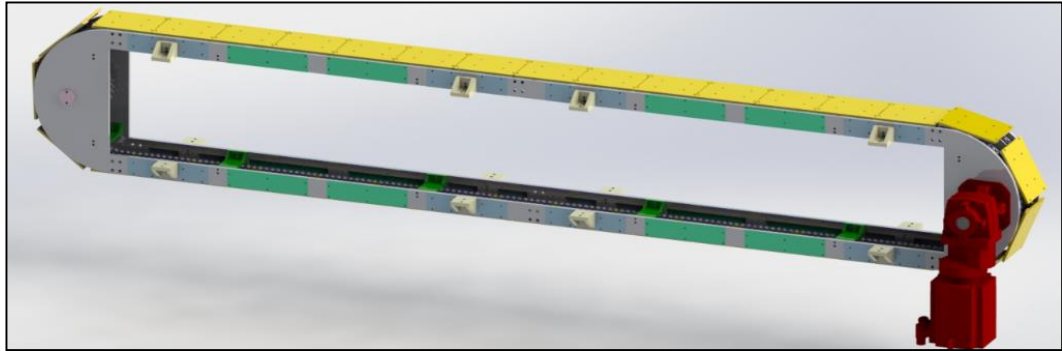


Fig. 13 Index Conveyor to transport the housing through the equipment

3.2.3 Vibratory Bowl Feeders

The vibratory bowl feeders were designed to ensure the constant feeding of the hulls. As it can be seen from Figure 14, the structure that supports the vibratory feeder was designed such that it can move vertically with the aid of two electric cylinders and angularly with the aid of a servomotor placed on the bottom sheet. This movement is allowed due to a round rack with outer teeth and a curved guide. However, this guide is only intended to support the entire weight of the feeder. To reduce the friction between the bottom sheet and the guide, a roller with four wheels was installed, also promoting noise reduction.

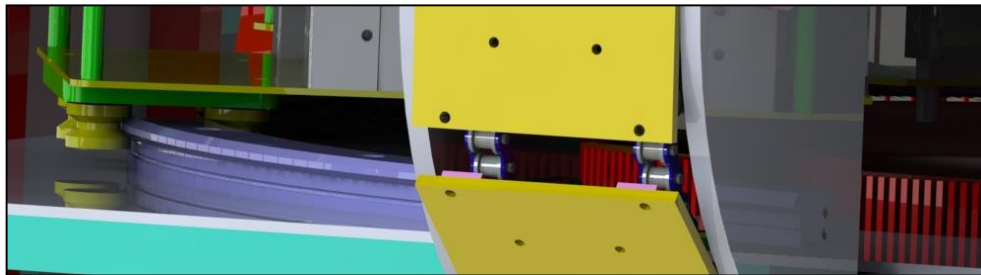


Fig. 14 Vibratory Bowl Feeder Movement System

In order to produce the vibration, it was decided to use a four-sided Vibratory Drive Base, able to work at 220V. To avoid the manufacturing of the bowl, it was decided to choose a bowl and a Vibratory Drive Base whose measures were the same, in order to facilitate their assembly. By default, a cylindrical bowl was selected (instead of a conical bowl or a stepped bowl), because the outer measures and their diameters are constant, thus occupying less space. This proves to be

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

advantageous, because it was possible to place the feeders substantially closer, thereby ensuring the coverage of a larger number of angles.



Fig. 15 Vibratory drive base system

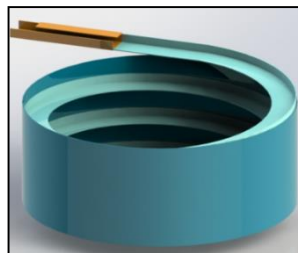


Fig. 16 Bowl system to organize the accessories

To ensure the perfect alignment of the pick-and-place with the output track, a table fixed in the structure that supports the feeder was designed, solving two problems: the alignment and the movement of the pick-and-place, i.e., whenever a given feeder moves, the associated pick-and-place will also move, angularly or vertically.

The measure of the interior track of the bowl is uniform, i.e., it is equal for round and oval rubbers, because the difference between them is negligible. Thus, one can supply any bowl with either oval or round rubbers, being only necessary to be careful not to feed phase 1 (introduction of the rubbers) with phase 2 (introduction of the bushings), because the movements associated with the pick-and-place vary depending on the type of accessories, i.e., it is necessary to respect the equipment sequence.

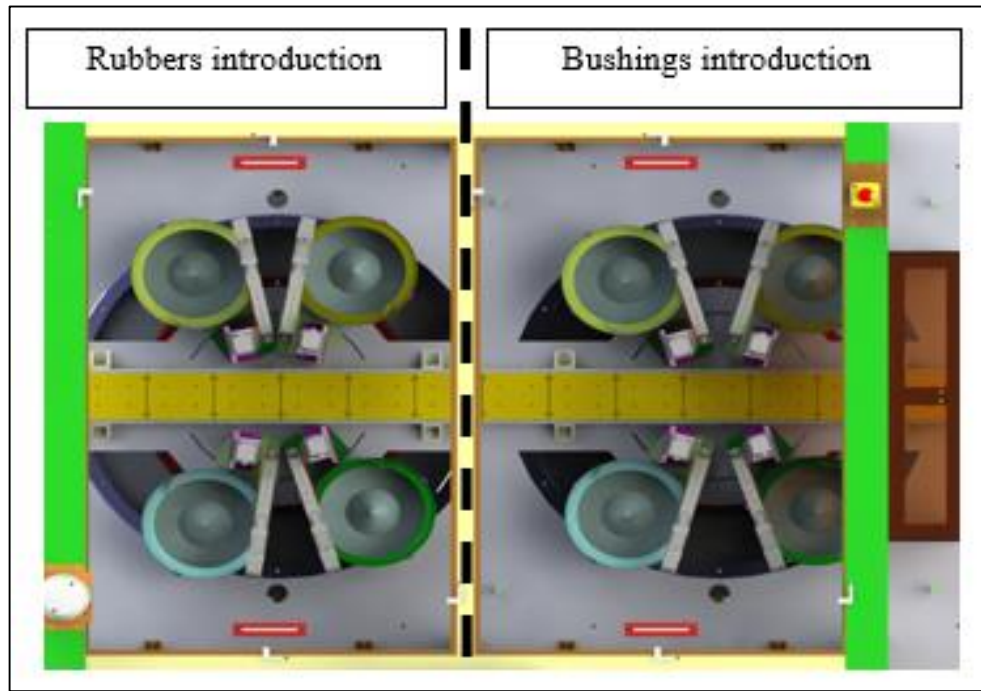


Fig. 17 Phase 1 and Phase 2 of the equipment

3.2.4 Drive Systems

As previously shown in the requirements, this equipment should be fully flexible to operate autonomously. Therefore, the most reasonable solution would be to use drive systems. In this case, it was decided to use servo motors (Figure 18) which, as stated above, are intended to move the vibratory feeders angularly to the housing.

The choice of servo motors became obvious by the fact that they can be controlled by a computer program. So, after choosing the product that will be produced, the feeders will self-adjust in order to start manufacturing. This ensures the most accurate alignment when compared to the alignment done by a worker.

A step motor was chosen for the index conveyor, because the movement will be constant in a given period of time.

The solution could be electric motors. However, these do not have a constant speed unlike the adopted solutions, because their speed can be adjusted, varying in a given speed range in which these drive systems can work.



Fig. 18 Example of a servomotor used on the equipment

3.2.5 Actuators

As previously shown, the geometry of each housing is quite abstract and complex and varies with each reference. Thus, the cylinders that introduce both rubbers and bushings need to extend enough to enter the accessories without damaging the hulls. Therefore, the options are:

- Pneumatic Actuators;
- Electronic Actuators.

Pneumatic Actuators

This type of actuators could be a good choice, since they are less expensive and, with their smaller dimensions, would occupy less space. However, as the geometry of the housings is variable, the cylinder would have to extend just enough to insert the rubber. This would not occur because, by default, this type of actuators, when used, extend to the maximum, unless they are equipped with position sensors that would limit their movement. However, the position of these sensors would vary depending on the reference. The only solution would be to manually change the sensors position, which would increase the equipment setup time. Therefore, despite its advantageous aspects, this option was rejected.

Electronic Actuators

Electric actuators were the adopted solution. Despite its size being relatively larger than the pneumatic actuator and the fact that they are considerably more

expensive, this type of actuators is controlled by a servomotor that is incorporated. Thus, the expansion of the cylinder is more easily controlled as well as its speed and labour strength. Another advantage is the fact that if there is a cylinder malfunction, the worker will know quickly through the information available on the display.

The electrical axes are also electronically controlled, because the motion control is more reliable and accurate, and the faults detection can be displayed on the screen.



Fig. 19 Electronic actuator used on Phase 1 and Phase 2

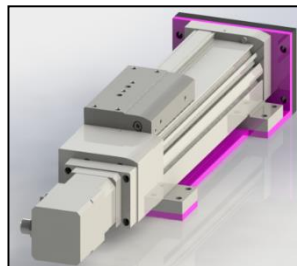


Fig. 20 Electronic axle used on Phase 1 and Phase 2

However, this equipment has a pneumatic actuator, the gripper, because, when compared with an electric gripper, the dimensions of the pneumatic one are considerably smaller than the electric one. The control of the gripper opening is irrelevant since it is expected to open to the maximum to hold the accessories and close completely when it finalizes their introduction. The gripper (Figure 21) will only work when it receives the electric actuator signal, in order to open or close according to the step in which is the pick-and-place movement.

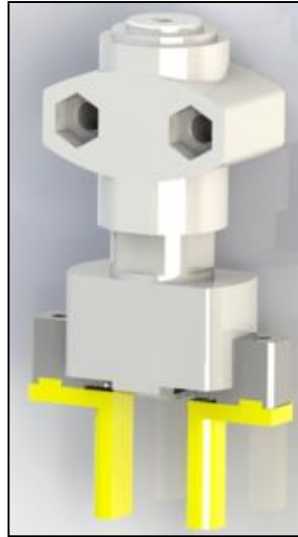


Fig. 21 Gripper to manipulate the accessories

3.2.6 Inspection

The inspection is the last operation the machine must perform before placing the hull in the box. This phase is constantly performed in order to identify the parts and to count the compliant and non-compliant parts. However, the visual check that the camera executes is too fast, in order to analyse the housing in the time that the index conveyor is stopped.

In order to protect the workers from the constant flashes that this camera makes, black acrylic plates were applied to reduce the intensity of light emitted, functioning as a pair of sunglasses or as a welding mask, protecting the eyes of the human beings and avoiding injuries.

3.3 Used Materials

To build the structure of this equipment, it was decided to use aluminium sheets and an aluminium square tube. Thus, it withdrew some weight from the whole equipment while maintaining the structural stability. However, this equipment will not undergo significant loadings, and even the constant movement of the index conveyor will not be felt throughout the structure.

For superior and lateral protection, clear acrylic was used to facilitate visualization into the machine and protecting the worker who is near this equipment from any possible object that can be thrown.

Finally, two windows provided with metal lattice-work were built, which are easy to remove and to attach, in the case that the operator needs to access the inside of the machine for different sides.



Fig. 22 Equipment structure

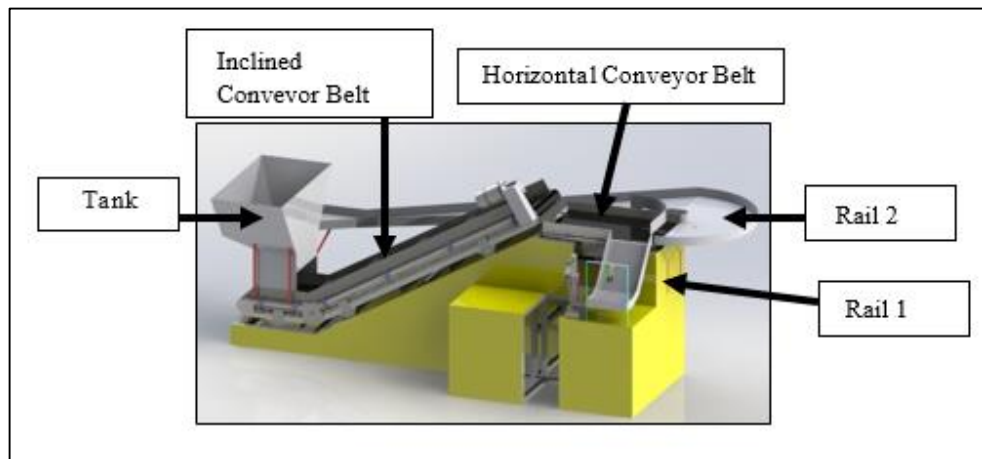


Fig. 23 Housings feeder system

3.3.1 Housings feeder – An idea under construction

As the housings have a very complex geometry, a conveyor system has been designed that will supply the index conveyor to subsequently introduce rubbers and bushings. Thus, it is possible to eliminate all manpower linked to the equipment supply, making it more ergonomic and allowing the workers to devote themselves to other activities, since their presence is only required for supplying the vibratory bowl feeders, the housings feeder and for starting the equipment setup. It should be noted that this equipment (Figure 23) is intended for the housings feeding and it is removable to facilitate the access to the feeders related to Stage 1 – introduction of the rubbers.

3.3.2 Movement sequence

The housings must be deposited in the tank, which will drop some of them by each given time schedule, in order to control their output. When the housings are in the inclined conveyor, they will proceed until they are deposited on the next conveyor, and so we reach to the main assembly line: at the end of this conveyor, there is a metal sheet which prevents the housings that are in the wrong position to enter into the actual machine. These housings will pass beneath the metal sheet, following the path in the "Rail 2", which will lead them back to the tank. The housings that are considered in the correct position will be placed in the index conveyor holder, will go down the rail, where they will wait for their turn to be placed on the assembly line.

When the housings are in the "Rail 1", their position will be given by the reading performed by a camera, which transmits that reading data to a rotating pick-and-place (Figure 24) in order to pick up the housing and place it in the index conveyor.



Fig. 24 Rotative pick-and-place to put the housings on the equipment

4. RESULTS AND DISCUSSION

After finishing the project design, it can be stated that its main goal was successfully fulfilled, because all the initially imposed requirements were satisfied by the used methods.

It was possible to make the equipment flexible enough to cover all existing references and the possible new models that may appear on the market, because, for each reference, there is a setup that automatically organizes the equipment without human intervention, thereby ensuring a high alignment accuracy level between the feeder and the input plane of the accessories. In relation to the different rubber input plans, this has been solved by applying two actuators in

1 order to move the vibratory bowl feeder vertically. Since it was decided to use
2 electronic actuators, it is possible to assemble housings of any material (composite
3 or aluminium), because the force required to the actuator varies depending on the
4 material, which is jointly controlled with the expansion of the actuator, depending
5 on the reference type.
6
7

8 As the equipment setup is done electronically, the time for the adjustments is
9 small and accurate when compared to manpower. It can be said that the time for
10 the amount of parts that were imposed a priori was fulfilled, i.e., when one
11 compares the time stipulated for the manufacture of a unit in this equipment to a
12 unit produced by a worker, it is noted that the production increases dramatically.
13 Thus, this equipment is competitive taking into consideration the current
14 production rate. Competitive enterprises have better positioning and get better
15 benefits. Therefore, as already mentioned a fast machine with low setup time can
16 give a faster response and optimize the cost and final price of the assembly
17 process, in order to meet the customer needs, since the consumer appreciates that
18 his requests are attended on schedule and with the lowest associated cost.
19

20 As the equipment only requires power and maintenance, the necessary number of
21 workers changed to just one (shared). The job that is currently performed is quite
22 wearing, physically and emotionally, which leads to an increased probability of
23 error and amount of non-conforming parts, which would slow down the
24 manufacturing process. As it is a very repetitive process and the working position
25 is practically the same, physical, cognitive and organizational ergonomics will be
26 affected, causing discouragement and lack of will, affecting the production, the
27 people around the worker and the company. The novel equipment allows the
28 responsible worker to be able to perform other activities during the manufacturing
29 time, contributing to increase the production and the worker's satisfaction and
30 motivation.
31

32 Associated with ergonomics, comes the quality, because, if the first is affected,
33 the production and quality will be affected as well. With this equipment, the
34 quality is extremely accurate. If not, the final consumer would be affected and
35 would be dissatisfied. With the quality improvement, the amount of non-
36 conforming parts is very small, leading the process to its maximum profitability.
37 Although the accuracy level of the positioning and the introduction of rubbers and
38 bushings is high, it does not mean that there is not the possibility of failure;
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

however, if an error occurs during the production line, the inspection machine will check the assembly and quickly rejects the housing.

CONCLUSIONS

This study concludes that automation is the best option to enhance and improve both the production and the quality of manufactured products, allowing as well a high grade of flexibility, which leads to a better production management regarding the new market requirements: medium or low series and fast delivery, with an elevated grade of customization. This work also proves that it is possible for the mechanical designer to concept novel equipments taking into account the new market requirements: several similar parts/sets produced in small quantities. By a carefully analysis of the products' family and finding out the geometrical similarities, it is possible to use automation devices and programming techniques leading to the desired goals without the mandatory use of robotics. Furthermore, several devices used to build the equipment can be reutilized in new equipments and tools, increasing by this way the life-cycle of these components, thus competing with the robotic systems.

Using the equipment developed as case study in this work, the production will increase to about 1000 parts per hour, enough to monetize the process compared to the currently used production (work carried out only by workers). Therefore, the expected production time per unit manufactured has been achieved, thereby ensuring a very low cycle time.

The flexibility of this machine allows easy adaptation to new models that may arise, under the condition that the accessories (rubbers and bushings) have to be introduced into the housing in the same sequence. This is the best way to drastically improve the flexibility when designing a new assembly system.

The permanent presence of a worker is not required, since one only needs to be aware of the warning signs (luminous and/or sonorous) to fill the feeders and solve any unforeseen problems.

In order to further reduce the presence of the workers and improve the equipment, a sub-equipment could be designed to feed the vibratory bowl feeders, dosing and controlling the amount of accessories to be deposited in them.

Concerning the equipment for the housing feeding, it could undergo some changes in order to reduce their dimensions as well as the circuit that the housings have to go, in order to make it a more flexible and efficient equipment, such as repositioning the housings that are in the wrong position, eliminating altogether the percentage of housings rejected by the feeder.

In order to avoid that the final result would be deposited in a box, it could be studied a way to the housings, after passing the inspection, to be immediately packaged and labelled.

ACKNOWLEDGMENTS

The main author would like to thank his mentor and co-supervisor for all the support and the confidence in this project and to the company that put this challenge on the table, for the opportunity to put into practice all his knowledge.

REFERENCES

- Araújo, W., Silva, F.G.S., Campilho, R. D. S. G.: Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, in Press, DOI: 10.1007/s00170-016-9475-6, (2016)
- B.B.A. & R. Association: BARA – Why Use Robots?
<http://www.bara.org.uk/robots/why-userobots.html>. Accessed 2 February 2016
- Bélanger-Barrette, M.: *Robotics Industry News, Applications and Trends*
<http://blog.robotiq.com/bid/69722/Top-5-Robotic-Applications-in-the-Automotive-Industry>. Accessed 11 February 2016
- Ford, M.: *The Lights in the Tunnel: Automation, Accelerating Technology and the Economy of the Future*. Acullant Publishing, United States of America (2009)
- Groover, M. P.: *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated manufacturing*. 2nd edition, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA (2000)
- INTELI: *Diagnóstico da Indústria Automóvel em Portugal*. Ministério da Economia e Inovação (2005) in Portuguese
- Koren, Y.: *The Global Manufacturing Revolution - Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*. John Wiley & Sons (2010)
- Kumar, R., Garg, R. K.: Optimal selection of robots by using distance based approach method. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 26, No. 5, pp. 500–506 (2010)

1 Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D., Chryssolouris, G.: Automotive assembly
2 technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. *CIRP Journal of*
3 *Manufacturing Science and Technology*, Vol. 2, No. 2, 81–91 (2010)
4
5 Moniz, A.: *Competitivy in the Portuguese automotive sector and innovative forms of employment*
6 *management*. University Library of Munich, Germany, September, No. 6970 (2006)
7
8 Nunes, P. M. S. and Silva, F. J. G.: Increasing Flexibility and Productivity in Small Assembly
9 Operations: A Case Study. *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems*,
10 *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 329-340, Springer (2013)
11
12 Tanselliç, Y., Yurdakul, M., Dengiz, B.: Development of a decision support system for robot
13 selection. *Robot. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 29, No. 4, 142–157 (2013)
14
15 Thomas, P. E., Kurfess, R.: *Robotics and Automation Handbook*. CRC PRESS (2005)
16
17 Wise, E.: *Robotics Demystified*. McGraw-Hill (2005)
18
19 Yamauchi, Y.: Application and evaluation of robots in Nissan. *Automotive Manufacturing*
20 *International* (1993)
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65